

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Mario Majdandžić**

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Doc. dr. sc. Goran Krajačić, dipl. ing.

Student:

Mario Majdandžić

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru, Doc. dr. sc. Goranu Krajačiću, dipl. ing., na pruženoj mogućnosti izrade diplomskog rada na vrlo zanimljivoj tematici. Zahvaljujem na pomoći, vodstvu i pruženom znanju koje sam dobio prilikom izrade rada.

Zahvaljujem svojim roditeljima i obitelji koji su bili uz mene i pružali mi potporu u svakom obliku te bez njihove potpore ne bih došao do ove stepenice u svom obrazovanju.

Zahvaljujem prijateljima i kolegama na zajedničkom svladavanju studijskih obaveza te lijepom i nezaboravnom druženju.

Hvala profesorima i asistentima na pruženom znanju i poticaju za daljnjim učenjem i usavršavanjem.

Mario Majdandžić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Mario Majdandžić**

Mat. br.: 0035177137

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku: **Solarizacija Republike Hrvatske**

Naslov rada na  
engleskom jeziku: **Solarization of the Republic of Croatia**

Opis zadatka:

Republika Hrvatska je mediteranska zemlja koja po većini indikatora zaostaje za ostalim članicama EU u primjeni Sunčeve energije. Unatoč povoljnoj insolaciji, u 2015. godini Republika Hrvatska je imala 0,01 kW po osobi instalirane snage fotonaponskih sustava te prema procjenama oko 0,03 kW po osobi instalirane snage solarnih toplinskih sustava. Solarizacija Republike Hrvatske obuhvaća primjenu Sunčeve energije u kućanstvima, svim javnim i gospodarskim sektorima te pripadajućim energetske sustavima.

U diplomskom radu je potrebno:

1. Analizirati doprinos toplinske energije dobivene iz solarnih toplinskih kolektora za slučaj instalacije 1 m<sup>2</sup> kolektora po glavi stanovnika u RH.
2. Analizirati doprinos električne energije dobivene iz fotonaponskih sustava za slučaj instalacije 1 m<sup>2</sup> fotonaponskih modula po glavi stanovnika u RH.
3. Analizirati udio dobivene toplinske i električne energije iz 1. i 2. u ukupnoj potrošnji energije u RH te ga usporediti s referentnim scenarijem nacrt Strategije niskouglijasnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine.
4. Usporediti zemlje EU s Hrvatskom u dobivanju električne energije iz fotonaponskih sustava prije i poslije solarizacije.
5. Usporediti zemlje EU s Hrvatskom u dobivanju toplinske energije iz solarnih sustava prije i poslije solarizacije.

Analize pod 1. i 2. provesti po županijama, uzimajući u obzir prosječnu četveročlanu obitelj te za 1. analizirati samo toplinsku energiju potrebnu za zagrijavanje potrošne tople vode. Za višestambene zgrade pretpostaviti da su priključene na centralni ili centralizirani toplinski sustav s dnevnim, tjednim ili sezonskim spremnicima toplinske energije. Analize 1., 2. i 3. provesti računalnim programom za energetske planiranje EnergyPLAN.

Potrebni podaci i literatura se mogu dobiti kod mentora. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

9. ožujka 2017.

11. svibnja 2017.

17., 18. i 19. svibnja 2017.

Zadatak zadao:

Predsjednica Povjerenstva:

  
Doc. dr. sc. Goran Krajačić

  
Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA .....	VI
POPIS OZNAKA .....	VII
SAŽETAK .....	IX
SUMMARY .....	X
1. UVOD .....	1
1.1. Uvod u energiju Sunca .....	1
1.2. Teorijski i tehnički potencijal energije Sunčeva zračenja .....	2
1.3. Solarizacija Republike Hrvatske .....	6
1.3.1. Poticaji i promidžba solarnih sustava za pripremu potrošne tople vode .....	7
1.3.2. Poticaji i promidžba fotonaponskih sustava priključenih na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije .....	9
2. METODE I PODACI .....	11
2.1. Podjela po županijama .....	11
2.2. Doprinos toplinske energije dobivene iz solarnih toplinskih kolektora .....	16
2.2.1. Polazni podaci solarnog sustava za pripremu PTV-a .....	16
2.2.2. Metodički pristup proračunu solarnog sustava postupkom f-Chart .....	18
2.3. Doprinos električne energije iz fotonaponskih sustava .....	28
2.3.1. Programi za simulaciju, dimenzioniranje i oblikovanje fotonaponskih sustava .....	28
3. PRORAČUN SUSTAVA .....	29
3.1. Toplinska energija dobivena iz solarnih toplinskih kolektora za pripremu PTV-a .....	29
3.1.1. Polazni podaci i proračunski rezultati solarnog sustava za pripremu PTV-a .....	29
3.1.2. Proračunski rezultati .....	30
3.2. Električna energija dobivena iz fotonaponskih sustava .....	37
3.2.1. Polazni podaci i proračunski rezultati fotonaponskog sustava .....	37
3.2.2. Proračunski rezultati .....	37
4. EnergyPLAN .....	43
4.1. Referentni scenarij [27] .....	43
4.2. Prijelazni NU1 scenarij niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine .....	46
4.3. Snažni NU2 scenarij niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine .....	48
4.4. Scenarij Solarizacije Republike Hrvatske do 2030. godine, „SOL1“ .....	51
4.5. Scenarij Solarizacije Republike Hrvatske do 2030. godine, „SOL2“ .....	54
5. ANALIZA I REZULTATI .....	57
5.1. Analiza kretanja broja stanovnika, broja kućanstava te GDP-a .....	57
5.2. Analiza podataka o potrošnji energije .....	58
5.3. Analiza podataka o opskrbi energije .....	59
5.3.1. Opskrba električne i toplinske energije .....	60
5.3.2. Opskrba samo toplinske energije .....	61

5.4.	Analiza podataka smanjenja emisija.....	61
5.5.	Usporedba zemalja EU i RH u dobivanju toplinske energije iz solarnih sustava prije i poslije solarizacije. ....	62
5.5.1.	Instalirani kapaciteti solarnih toplinskih sustava prije Solarizacije .....	62
5.5.2.	Instalirani kapaciteti solarnih toplinskih sustava nakon Solarizacije .....	66
5.6.	Usporedba zemalja EU i RH u dobivanju električne energije iz fotonaponskih sustava prije i poslije solarizacije. ....	69
5.6.1.	Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava prije Solarizacije.....	69
5.6.2.	Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava nakon Solarizacije .....	72
5.6.2.1.	Slučaj instalacije od 1 m <sup>2</sup> fotonapona po glavi stanovnika – SOL1 .....	72
5.6.2.2.	Slučaj instalacije od 1 kW fotonapona po glavi stanovnika – SOL2.....	75
6.	ZAKLJUČAK.....	78
	LITERATURA.....	103
	PRILOZI .....	105

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Usporedba energije Sunčeva zračenja i svjetske potrošnje energije na Zemlji [2] ..3
Slika 2.	Ogroman potencijal energije Sunčeva zračenja pada na svaku građevinu [1] .....4
Slika 3.	Solarni sustavi za pripremu potrošne tople vode [1] .....7
Slika 4.	Udjeli troškova ugradnje solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode .....8
Slika 5.	Udjeli troškova manjeg fotonaponskog sustava priključenog na javnu mrežu preko kućne instalacije [1].....9
Slika 6.	Fotonaponski sustav priključen na javnu mrežu preko kućne instalacije [1] .....10
Slika 7.	Županije u Republici Hrvatskoj [10].....11
Slika 8.	Broj obiteljskih kuća po županijama .....14
Slika 9.	Broj višestambenih zgrada po županijama .....14
Slika 10.	Podjela goriva za zagrijavanje PTV-a u RH za 2012. godinu .....16
Slika 11.	Faktor korekcije $K_1$ u ovisnosti o specifičnom volumeni $v_s$ .....24
Slika 12.	$f$ -dijagram za solarne sustave s kolektorima s tekućim nosiocem topline .....25
Slika 13.	Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja $f$ i stupnja djelovanja $\eta$ solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode u Zagrebu .....31
Slika 14.	Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja $f$ i stupnja djelovanja $\eta$ solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode u Splitu .....32
Slika 15.	Zadovoljenost PTV-a kod obiteljskih kuća u RH .....35
Slika 16.	Ukupna zadovoljenost pripreme PTV-a u slučaju instalacije 1 m <sup>2</sup> kolektora po glavi stanovnika .....37
Slika 17.	Električna energija dobivena iz fotonaponskog sustava ukupne snage 5 kWp instaliranog na obiteljskoj kući u Gradu Zagrebu .....38
Slika 18.	Mjesečna proizvodnja električne energije iz fotonaponskog sustava ukupne snage 5 kWp instaliranog na obiteljskoj kući u Gradu Zagrebu.....38
Slika 19.	Mjesečna proizvodnja električne energije po m <sup>2</sup> fotonaponskog sustava ukupne snage 5 kWp instaliranog na obiteljskoj kući u Gradu Zagrebu .....39
Slika 20.	Električna energija dobivena iz fotonaponskog sustava ukupne snage 5 kWp instaliranog na obiteljskoj kući u Gradu Splitu.....39
Slika 21.	Mjesečna proizvodnja električne energije iz fotonaponskog sustava ukupne snage 5 kWp instaliranog na obiteljskoj kući u Gradu Splitu .....40
Slika 22.	Mjesečna proizvodnja električne energije po m <sup>2</sup> fotonaponskog sustava ukupne snage 5 kWp instaliranog na obiteljskoj kući u Gradu Zagrebu .....40
Slika 23.	Podjela na kontinentalnu i Jadransku Hrvatsku .....42
Slika 24.	Raspodjela ukupne potrošnje energije u referentnoj 2012. godini prema EnergyPLAN-u .....44
Slika 25.	Udio OIE u ukupnim instaliranim kapacitetima za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj prema referentnoj 2012. godini.....46
Slika 26.	Raspodjela ukupne potrošnje energije u 2030. godini prema NU1 scenariju.....47
Slika 27.	Udio OIE u ukupnim instaliranim kapacitetima za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema NU1 scenariju iz EnergyPLAN-a.....48
Slika 28.	Raspodjela ukupne potrošnje energije u 2030. godini prema NU2 scenariju.....49
Slika 29.	Udio OIE u ukupnim instaliranim kapacitetima za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema NU2 scenariju.....50
Slika 30.	Raspodjela ukupne potrošnje energije u 2030. godini prema scenariju SOL1 Republike Hrvatske .....52

Slika 31.	Udio OIE u ukupnim instaliranim kapacitetima za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema SOL1 scenariju .....	53
Slika 32.	Udio OIE u ukupnim instaliranim kapacitetima za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema SOL2 scenariju .....	55
Slika 33.	Prikaz viška odnosno manjka snage kroz jednu godinu samostalnog rada energetakog sustava RH prema SOL2 scenariju za 2030. godinu .....	56
Slika 34.	Kretanje broja stanovnika i broja kućanstava u Hrvatskoj od 2012. godine do 2030. godine.....	57
Slika 35.	Kretanje GDP – a u Hrvatskoj od 2012. godine do 2030. godine.....	58
Slika 36.	Potrošnja energije od 2012. do 2030. godine prema „NU1“, „NU2“, „SOL1“ i „SOL2“ scenariju .....	59
Slika 37.	Prikaz proizvodnje toplinske energije iz solarnih toplinskih kolektora .....	61
Slika 38.	Prikaz kretanja emisija od 2012. godine do 2030. godine.....	62
Slika 39.	Instalirani kapaciteti solarnih toplinskih sustava unutar država članica EU prema referentnoj 2012. godini .....	64
Slika 40.	Površina solarnih toplinskih kolektora instaliranih po glavi stanovnika unutar država članica EU prema referentnoj 2012. godini.....	64
Slika 41.	Godišnja proizvodnja toplinske energije iz solarnih toplinskih sustava unutar država članica EU prema referentnoj 2012. godini.....	65
Slika 42.	Smanjenje emisija CO <sub>2</sub> unutar država članica EU prema referentnoj 2012. godini .....	65
Slika 43.	Instalirani kapaciteti solarnih toplinskih sustava unutar država članica EU nakon Solarizacije za 2030. godinu .....	67
Slika 44.	Površina solarnih toplinskih kolektora instaliranih po glavi stanovnika unutar država članica EU nakon Solarizacije za 2030. godinu .....	67
Slika 45.	Godišnja proizvodnja toplinske energije iz solarnih toplinskih sustava unutar država članica EU nakon Solarizacije za 2030. godinu .....	68
Slika 46.	Smanjenje emisija CO <sub>2</sub> unutar država članica EU nakon Solarizacije za 2030. Godinu .....	68
Slika 47.	Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava unutar država članica EU prema referentnoj 2012. godini .....	70
Slika 48.	Kapacitet fotonaponskih sustava instaliranih po glavi stanovnika unutar država članica EU prema referentnoj 2012. godini .....	70
Slika 49.	Godišnja proizvodnja električne energije iz fotonaponskih sustava unutar država članica EU prema referentnoj 2012. godini.....	71
Slika 50.	Smanjenje emisija CO <sub>2</sub> unutar država članica EU prema referentnoj 2012. godini .....	71
Slika 51.	Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava unutar država članica EU nakon SOL1 scenarija za 2030. godinu .....	73
Slika 52.	Kapacitet fotonaponskih sustava instaliranih po glavi stanovnika unutar država članica EU nakon SOL1 scenarija za 2030. godinu .....	73
Slika 53.	Godišnja proizvodnja električne energije iz fotonaponskih sustava unutar država članica EU nakon SOL1 scenarija za 2030. godinu .....	74
Slika 54.	Smanjenje emisija CO <sub>2</sub> unutar država članica EU nakon SOL1 scenarija za 2030. godinu .....	74
Slika 55.	Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava unutar država članica EU nakon SOL2 scenarija za 2030. godinu .....	76
Slika 56.	Kapacitet fotonaponskih sustava instaliranih po glavi stanovnika unutar država članica EU nakon SOL2 scenarija za 2030. godinu .....	76



Slika 57.	Godišnja proizvodnja električne energije iz fotonaponskih sustava unutar država članica EU nakon SOL2 scenarija za 2030. godinu .....	77
Slika 58.	Smanjenje emisija CO <sub>2</sub> unutar država članica EU nakon SOL2 scenarija za 2030. godinu .....	77
Slika 59.	Usporedba u proizvodnji električne i toplinske energije iz Solarnih toplinskih sustava i fotonaponskih sustava u raznim mogućim scenarijima za 2030. godinu	80
Slika 60.	Usporedba u smanjenju emisija CO <sub>2</sub> u atmosferu zbog proizvodnje električne i toplinske energije iz Solarnih toplinskih sustava i fotonaponskih sustava u raznim mogućim scenarijima za 2030. godinu .....	80

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Broj stanovnika po županijama u Republici Hrvatskoj [11] .....	12
Tablica 2. Broj obiteljskih kuća i višestambenih zgrada po županijama .....	13
Tablica 3. Finalna potrošnja energije za pripremu PTV-a u 2012. godini po županijama [14] .....	15
Tablica 4. Deklinacija Sunca, visina Sunca, satni kut Sunca, vrijeme izlaska i zalaska Sunca i trajanje Sunčeva dana u Zagrebu [19] .....	18
Tablica 5. Neki podaci o albedu na Zemlji [20] .....	20
Tablica 6. Srednja dnevna ozračenost nagnutog kolektora, $H_{\beta}$ , MJ/m <sup>2</sup> [19] .....	21
Tablica 7. Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom $f$ -Chart za područje grada Zagreba .....	31
Tablica 8. Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom $f$ -Chart za područje grada Splita .....	32
Tablica 9. Ukupna proizvedena toplinska energija za PTV u obiteljskim kućama po županijama .....	33
Tablica 10. Zadovoljenost potreba obiteljskih kuća za PTV-om po županijama .....	34
Tablica 11. Ukupna potrebna energija za pripremu PTV-a u obiteljskim kućama i višestambenim zgradama .....	36
Tablica 12. Ukupna dobivena električna energija iz sustava instaliranih na obiteljskim kućama po pojedinim županijama .....	41
Tablica 13. Ukupna potrošnja energije u Hrvatskoj prema referentnoj 2012. godini [27] .....	44
Tablica 14. Ukupna potrošnja energije u Hrvatskoj u NU1 scenariju za 2030. godinu prema EnergyPLAN-u .....	47
Tablica 15. Ukupna potrošnja energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema NU2 scenariju, prema EnergyPLAN-u .....	49
Tablica 16. Ukupna potrošnja energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema scenariju SOL1 Republike Hrvatske .....	52
Tablica 17. Prikaz instaliranih kapaciteta za proizvodnju električne i toplinske energije .....	60
Tablica 18. Prikaz instaliranih kapaciteta za proizvodnju samo električne energije .....	60
Tablica 19. Instalirani kapaciteti solarnih toplinskih sustava po zemaljama EU za referentu 2012. godinu .....	63
Tablica 20. Instalirani kapaciteti solarnih toplinskih sustava po zemaljama EU nakon Solarizacije za 2030. godinu [31] .....	66
Tablica 21. Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava po zemaljama EU za referentu 2012. godinu .....	69
Tablica 22. Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava po zemaljama EU nakon SOL1 za 2030. godinu [31] .....	72
Tablica 23. Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava po zemaljama EU nakon SOL2 za 2030. godinu [31] .....	75

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$A_k$	$m^2$	površina apsorbera kolektora
$A_{zg}$	$m^2$	vanjska površina zgrade
$b$	l	potrošnja tople vode po osobi i danu
$c_v$	J/kgK	specifični toplinski kapacitet vode
$E$	J	energija
$E_d$	kWh	Prosječna dnevna proizvodnja električne energije iz određenog sustava
$E_m$	kWh	Prosječna mjesečna proizvodnja električne energije iz određenog sustava
$m$	kg	masa
$n$	-	redni broj dana u godini
$F_R$	-	faktor prijenosa topline iz kolektora u fluid
$f$	%	solarni stupanj pokrivanja
$H$	J/m <sup>2</sup>	ukupna Sunčeva ozračenost vodoravne plohe
$H_d$	J/m <sup>2</sup>	raspršena ozračenost vodoravne plohe
$H_d$	kWh/m <sup>2</sup>	Prosječna dnevna suma globalnog ozračenja po četvornom metru modula danog sustava
$H_m$	kWh/m <sup>2</sup>	Prosječna suma globalnog ozračenja po četvornom metru modula danog sustava
$H_\beta$	J/m <sup>2</sup>	ukupna Sunčeva ozračenost nagnute plohe
$K$	-	faktori korekcije
$k$	W/m <sup>2</sup> K	koeficijent prolaza topline
$k_{ef}$	W/m <sup>2</sup> K	efektivni koeficijent prolaza topline kolektora
$N_d$	-	broj dana u mjesecu
$N_o$	-	broj osoba
$N_{sd}$	K/dan	broj stupanj-dana u mjesecu
$Q_d$	J	potrošnja dodatne energije
$Q_{gr}$	J	toplinsko opterećenje grijanja
$Q_k$	J	toplinska energija dobivena iz kolektora
$Q_p$	J	ukupna toplinska energija
$Q_{ptv}$	J	toplinska energija za pripremu potrošne tople vode
$R$	-	omjer srednje dnevne ozračenosti nagnute i horizontalne plohe za pojedini mjesec
$R_b$	-	omjer srednje dnevne izravne ozračenosti nagnute i vodoravne plohe za pojedini mjesec

$V_s$	$m^3$	volumen spremnika vode
$X$	-	izlazna (mjerna) veličina
$Y$	-	izlazna (mjerna) veličina
$\alpha$	$^\circ$	kut visine Sunca
$\alpha$	-	apsorpcijski faktor
$\beta$	$^\circ$	kut nagiba kolektora
$\delta$	$^\circ$	kut deklinacije Sunca
$\eta$	-	stupanj djelovanja
$\eta_m$	-	stupanj djelovanja modula
$\eta_o$	-	optički stupanj djelovanja
$\vartheta$	$^\circ C$	temperatura
$\vartheta_t$	$^\circ C$	referentna temperatura prostora
$\vartheta_{hv}$	$^\circ C$	temperatura hladne vode
$\vartheta_{tv}$	$^\circ C$	temperatura tople vode
$\vartheta_z$	$^\circ C$	temperatura okoliša
$\lambda$	$^\circ$	zemljopisna dužina
$\rho$	-	refleksijski faktor (albedo)
$\rho_v$	$kg/m^3$	gustoća vode
$\tau$	-	transmisijski faktor
$(\tau\alpha)_{ef}$	-	efektivni umnožak transmisije i apsorpcije
$(\tau\alpha)_n$	-	umnožak transmisijskog i apsorpcijskog faktora pri okomitom upadu
$\varphi$	$^\circ$	zemljopisna širina
$\omega$	$^\circ$	satni kut Sunca
$\omega_s$	$^\circ$	vremenski kut izlaska (zalaska) Sunca za vodoravnu plohu
$\omega_{s\beta}$	$^\circ$	vremenski kut izlaska (zalaska) Sunca na vodoravnu plohu

## SAŽETAK

Hrvatska je zemlja raznolikog prirodnog bogatstva i ljepote, još uvijek čistog okoliša, čiste vode i zraka te prekrasnog i čistog mora sa 1185 velikih i malih otoka, bisera Hrvatske. Stoga, način opskrbe električnom energijom pomoću fotonaponskih modula i toplinskom energijom za grijanje i pripremu potrošne tople vode pomoću solarnih toplinskih sustava, poglavito ovih kako malih tako i velikih otoka, te priobalja, zaobalja a i cijele Hrvatske, nema alternative.

U okviru ovog rada prikazana su dva moguća scenarija Solarizacije Republike Hrvatske. Prvi scenarij, nešto blaži, prikazuje nam koliki bi bio doprinos u proizvodnji električne energije iz OIE ako bi se instalirao 1 m<sup>2</sup> fotonaponskih modula po glavi stanovnika, kao i doprinos toplinske energije kada bi se instalirao 1 m<sup>2</sup> solarnih toplinskih kolektora po glavi stanovnika na obiteljskim kućama s ciljem zagrijavanja PTV-a. Drugi scenarij predstavlja scenarij snažne promjene u kojem je izrađen sustav u kojem bi Republika Hrvatska trebala sve svoje potrebe zadovoljavati unutar svojih granica. Za razliku od prethodnog scenarija, u ovom scenariju se instalirao 1 kW fotonaponskih modula po glavi stanovnika u Republici Hrvatskoj, dok je način zagrijavanja PTV-a ostao nepromijenjen u odnosu na prethodni scenarij.

Ukupni doprinos bilo električne energije iz fotonaponskih modula, bilo toplinske energije iz solarnih kolektora u ovom radu se prikazao za svaku županiju posebno s ciljem dobivanja što točnijih rezultata. Na kraju su se prikazali mogući problemi u realizaciji takvih scenarija, kao i smanjenje emisija CO<sub>2</sub> u odnosu na referentnu godinu.

Za Republiku Hrvatsku je od iznimnog značaja korištenje Sunčeve energije i Hrvatska mora biti živo zainteresirana za ovaj obnovljiv izvor energije te ući u područje znanja i mudrosti korištenja Sunčeve energije kao što je to u zemljama Europske unije.

Ključne riječi: Solarizacija republike Hrvatske, EnergyPLAN, PVGIS, solarni toplinski kolektori, fotonaponski moduli, obnovljivi izvori energije, emisije CO<sub>2</sub>

## SUMMARY

Croatia is a country of diverse natural wealth and beauty, still has clean environment, clean water and air and the beautiful and clear sea with 1185 large and small islands, pearls of Croatia. Therefore, the manner of electricity supply by means of photovoltaic modules and thermal energy for heating and domestic hot water using solar thermal systems, particularly those of both small and large islands and coastal areas, the hinterland and the entire Croatia, there is no alternative.

This work presents two possible scenarios of solarization of the Croatia. The first scenario, somewhat milder, show us how much it would contribute to the generation of electricity from renewable sources if it is installed 1 m<sup>2</sup> of photovoltaic per capita, as well as the contribution of thermal energy when it is installed 1 m<sup>2</sup> of solar thermal collectors per capita on family homes in order to prepare domestic hot water. The second scenario constitute a scenario of strong changes in which is build a system in which Croatia should meet all their needs within their borders. Unlike the previous scenario, in this scenario is installed 1 kW photovoltaic modules per capita in the Republic of Croatia, while the method of preparing domestic hot water remain unchanged compared to the previous scenario.

The total contribution, either electricity from photovoltaic modules, either heat from the solar collectors, in this work is displayed separately for each county in order to obtain as accurate results. At the end, the possible problems are shown in the implementation of such scenarios, as well as reducing CO<sub>2</sub> emissions in relation to the reference scenario.

It is extremely important, the usage of solar energy, for the Republic of Croatia and Croatia should be a lively interested in this renewable energy source and enter the field of knowledge and wisdom of using solar energy as it is in the European Union.

Key words: solarization of the Croatia, EnergyPLAN, PVGIS, solar thermal collectors, photovoltaic modules, renewable energy, CO<sub>2</sub> emissions

# 1. UVOD

## 1.1. Uvod u energiju Sunca

Sunce, rimski naziv **sol**, grčki **helios**, središnja je zvijezda našeg planetnog sustava i jedna je od mnogobrojnih zvijezda u galaksiji "Mliječni put". Sunce je glavni izvor elektromagnetskog zračenja koje prolazi atmosferom i neiscrpan je obnovljivi izvor energije. Ono daje energiju koja održava život, pokreće atmosferu i različitim sustavima njezina gibanja oblikuje vrijeme i klimu.

Danas se smatra da je Sunce nastalo od nakupine međuzvjezdanog plina koja se počela sažimati zbog gravitacijskog privlačenja. To je prouzročilo rast temperature te se prvotni izvor energije naziva gravitacijsko sažimanje. Zbog zagrijavanja plin je počeo zračiti i nastalo je «prasunce». Potvrdu takvoj hipotezi možemo naći u zvijezdama koje tek nastaju u oblacima međuzvjezdanog plina (tzv. protozvijezde). Kako se «prasunce» sažimalo, u jezgri je rasla gustoća i temperatura te su u određenoj fazi sažimanja nastali uvijeti za početak termonuklearne fuzije vodika u helij. Tako je stvoren nov izvor energije, Sunce [1].

Plin koji se u nukleranim reakcijama počeo još više zagrijavati dostigao je dovoljan pritisak da izbalansira gravitacijsko privlačenje i tako zaustavi daljnje sažimanje. Tim procesom nastalo je Sunce. Procjene starosti Sunca pokazuju da se to zbilo prije oko 5 milijardi godina, a ostaje mu još toliko dok ne potroši sav raspoloživi vodik za fuziju, a to je oko 10% ukupne količine vodika na Suncu.

O tome kako su burne reakcije na Suncu najbolje govori to što svake sekunde sa Sunčeve površine u obliku solarnog vjetra odlazi tvar ukupne mase 3 000 tona. Ako bi na taj način sa Sunca otišla cjelokupna tvar, bilo bi potrebno 200 000 milijardi godina.

Tako dobivena ogromna količina energije termonuklearnim reakcijama u unutrašnjosti Sunca ne samo da je stvorila nužne uvijete za nastanak i razvoj životnog ciklusa na Zemlji, nego nam je podarila i zalihe energije kojima se svakodnevno koristimo kao ugljen, naftu i prirodni plin.

Uzmemo li u obzir da Sunce samo u jednoj sekundi oslobodi više energije nego što je naša civilizacija tijekom svojeg razvoja iskoristila, važnost istraživanja energije Sunca i pretvorbe energije Sunčeva zračenja u korisne oblike energije poprima sasvim novu dimenziju s velikom mogućnošću rješavanja problema energetske krize, koja je u svijetu sve prisutnija.

## 1.2. Teorijski i tehnički potencijal energije Sunčeva zračenja

Sunce je velika užarena kugla nastala nešto prije 5 milijardi godina i prema znanstvenim procjenama još će toliko dugo zračiti svoju energiju. Ono se sastoji od 75 % vodika, 23 % helija, te od 2 % više od šesdeset različitih teških elemenata (ugljik, dušik, kisik, neon, magnezij, natrij, kalcij, željezo, silicij, aluminij itd.) utvrđenih spektroskopom. Duboko u unutrašnjosti Sunca odvijaju se termonuklearne reakcije fuzije jezgara, u kojima atomi vodika (četiri protona) postaju atomi helija (jedan helijev nukleon) te nastaju druge teže jezgre [1]. Masa helijeva nukleona manja je od mase četiriju protona, gubitak mase  $\Delta m$  (kg) pretvara se u energiju  $E$ , koja se preko brzine svjetlosti  $c_0$  ( $3 \cdot 10^8$  m/s) prema Einsteinu može proračunati na sljedeći način:

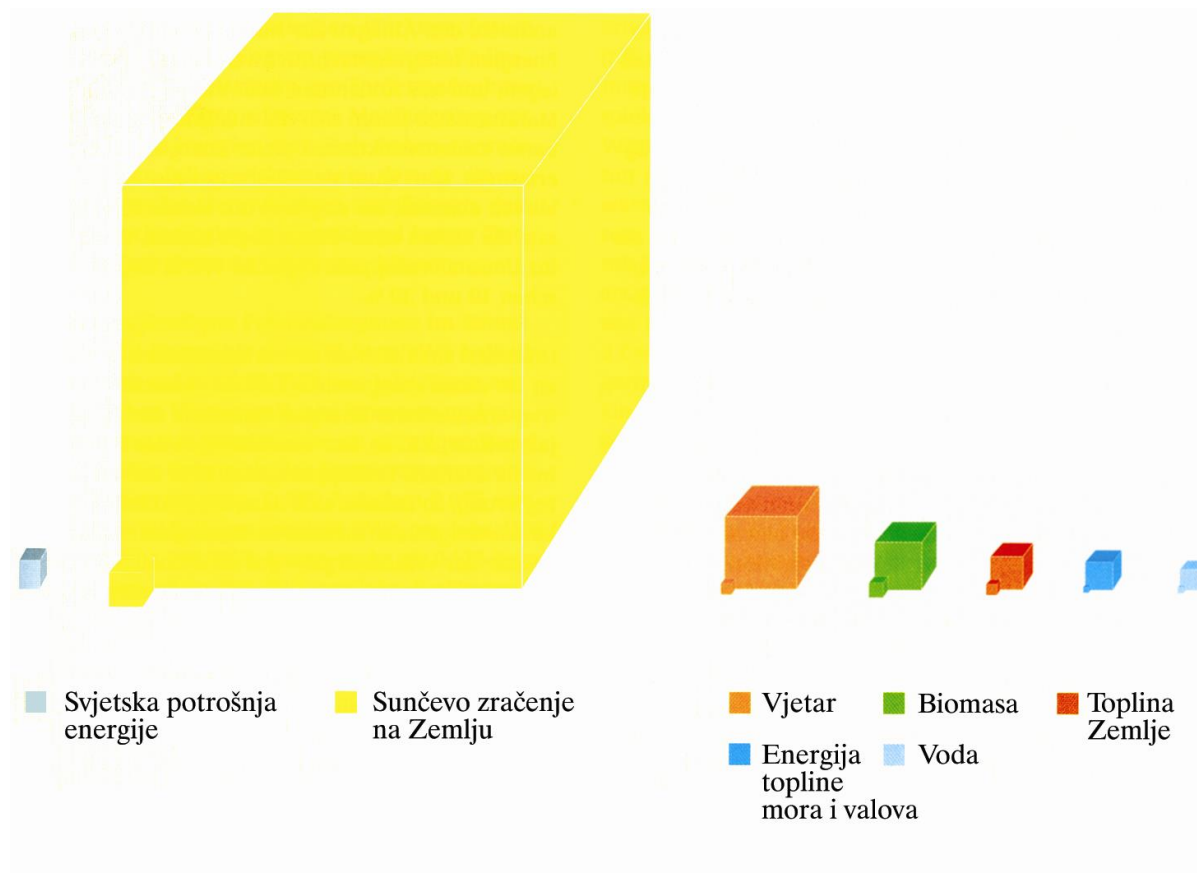
$$E = \Delta m \cdot c_0^2 \quad \text{J} \quad (1)$$

$$\text{ENERGIJA (kWh)} = \text{MASA (kg)} \times 25\,000\,000\,000$$

Jedan gram mase odgovara energiji od 25 milijuna kilovatsati, odnosno tu količinu energije dobili bismo ako jedan gram mase na neki način pretvorimo u energiju. To načelo, dakle, objašnjava kako i relativno male mase ostvaruju ogromne količine energije. Tako oslobođena energija nezadrživo se prenosi prema površini Sunca da bi buknila u međuplanetarnom prostoru.

Na slici 1 prikazano je godišnje Sunčevo zračenje na površini Zemlje u usporedbi s godišnjom potrošnjom energije u svijetu te zalihama fosilnih (ugljen, nafta, plin) i nuklearnih goriva (uran). [2]





**Slika 1. Usporedba energije Sunčeva zračenja i svjetske potrošnje energije na Zemlji [2]**

Tehnički potencijal energije Sunčeva zračenja koji padne na neku građevinu (zgradu), slika 2, nekoliko je puta veći od potreba takve zgrade za energijom. Dakle, već postoje tehnički uređaji i oprema, kvalitetne tehničke razine, a cijenom prihvatljivi, za pretvorbu energije Sunčeva zračenja u električnu ili toplinsku energiju ili u energiju hlađenja. Time je postignuta s jedne strane ugodnost boravka u takvoj zgradi, te s druge strane smanjenje uvoza energenata, sigurnost opskrbe i znatno smanjenje utjecaja na okoliš iz energetskeg sektora.



**Slika 2. Ogroman potencijal energije Sunčeva zračenja pada na svaku građevinu [1]**

Različite su procjene o korištenju Sunčevom energijom u Hrvatskoj. Neke su pesimistične, druge suviše optimistične, ali zajedničko im je da će se povećati njihov udio u budućoj energetskej potrošnji. Također je sigurno, što se više novca i truda uloži u razvoj i potporu toj tehnologiji, bit će djelotvornija njihova primjena, što u konačnici vodi otvaranju novih radnih mjesta u malim i srednjim poduzećima. Mnoge su zemlje izradile i prihvatile ostvarenje takvih rješenja i ulaganja kao opću korist i gospodarski isplativo ulaganje, posebno nakon ubrzanoga tehnološkog razvoja i njihove masovne primjene.

Na žalost, trenutačno se Republika Hrvatska, iako ima izrazito povoljne uvjete za uporabu Sunčeve energije i to neusporedivo povoljnije od mnogih drugih zemalja, nalazi na samom dnu Europe po broju ugrađenih takvih sustava, te se može kazati da u Hrvatskoj nije iskorištena komparativna prednost u pogledu pretvorbe energije Sunčeva zračenja u električnu ili toplinsku energiju ili energiju hlađenja [1].

Stoga bi Sunčeva energija kao izrazito prihvatljiv obnovljiv izvor energije u bliskoj budućnosti mogla postati glavnim nositeljem ekološki održivoga energetskeg razvoja. Zbog toga se intenzivno istražuju novi postupci i procesi pretvorbe Sunčeve energije u električnu ili toplinsku energiju koji će biti objašnjeni u poglavljima ovog rada.

Konačno, uzmemo li u obzir visoke cijene klasične energije, cijena barela nafte učestalo prelazi 100 \$, stoljetna crpljenja tradicionalnih fosilnih izvora energije, te sve strože ekološke zakone i propise, doista možemo zaključiti kako će korištenje Sunčevom energijom, uz zaštitu okoliša, postati posao budućnosti.

Općenito u protekle četiri godine u svijetu je korištenje Sunčeve energije imalo stopu rasta oko 50% godišnje. Samo tijekom 2008. godine tržište solarnih toplinskih kolektora u Europskoj uniji i Švicarskoj ostvarilo je snažan rast od 60% u odnosu na 2007. godinu.

Na temelju dosadašnjeg iskustva već izgrađenih solarnih kuća diljem svijeta postavlja se pitanje; je li moguće razviti takav model energetske neovisne zgrade, koji bi osigurao 100% sve oblike energije i udobnost boravka, korištenjem Sunčevom energijom u skladu sa zaštitom okoliša i održivim razvojem bez emisije štetnih tvari u okoliš?

To bi bila energetske neovisna solarna zgrada sa sustavima pasivnog korištenja Sunčevom energijom, solarnog grijanja i pripreme potrošne tople vode, fotonaponskim sustavom istosmjerne i izmjenične struje, sezonskom pohranom energije s pomoću vodika, sustavom gorivnih članaka, te solarnim apsorpcijskim rashladnim uređajem, uz sve to kvalitetnim sustavom optimalnog vođenja i upravljanja energijom [1].

Teoretski potencijal energije Sunčeva zračenja daleko je veći od ostalih obnovljivih izvora energije, kao na primjer biomase, vodenih snaga i snage vjetra koji su i onako samo posljedica ili neki oblik pretvorbe Sunčeve energije.

Tehnički iskoristiv potencijal Sunčeve energije, dakle onaj koji se danas tehnički i tehnološki može iskoristiti za pretvorbu energije Sunčeva zračenja u električnu, toplinsku ili energiju hlađenja, još je uvijek veći od ukupne svjetske potrošnje energije.

### 1.3. Solarizacija Republike Hrvatske

Solarizacijom Republike Hrvatske koristila bi se besplatna energija Sunčevog zračenja na energetski učinkovit način bez buke, vibracija, pokretnih dijelova i onečišćenja okoliša. Sunce je neiscrpan izvor energije [3], a time je zajamčena sigurna i pouzdana opskrba električnom, toplinskom i energijom hlađenja naše nam jedine planete Zemlja. Pasivnim i aktivnim korištenjem Sunčeve energije smanjuje se uvoz svih energenata. Korištenje Sunčeve energije vodi otvaranju novih radnih mjesta i ulaganju u ruralnim područjima, područjima od posebne državne skrbi, priobalju, zaobalju i otocima. [1]

Hrvatska je 10. rujna 2015. godine donijela odluku o proglašenju zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (Narodne novine, br. 100/15). Ovim se zakonom uređuju planiranje i poticanje proizvodnje i potrošnje električne energije proizvedene u proizvodnim postrojenjima koja koriste obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju. Operator tržišta električne energije u smislu ovoga zakona odgovoran je za: otkup električne energije od povlaštenih proizvođača temeljem ugovora o otkupu električne energije sa zajamčenom otkupnom cijenom sukladno članku 35. ovoga zakona te otkup električne energije od povlaštenih proizvođača temeljem ugovora o otkupu električne energije sklopljenih temeljem tarifnog sustava za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (»Narodne novine«, br. 33/07.). [4]

Institucije Republike Hrvatske zadužene za provedbu navedenih zakonskih i podzakonskih propisa su: Ministarstvo gospodarstva rada i poduzetništva (MINGORP), Hrvatska energetska regulatorna agencija (HERA), Operator distribucijskog ili prijenosnog sustava (HEP-ODS ili HEP-OPS) i Hrvatski operator tržišta energije (HROTE).

Donešeni zakonski i podzakonski propisi su dobar temelj koji može poslužiti solarizaciji Republike Hrvatske. Uporište za ovu tvrdnju leži i u činjenici, da je tehnički iskoristiv potencijal energije Sunca, dakle onaj koji se danas tehničko-tehnološki može iskoristiti za pretvorbu energije Sunčeve zračenja u električnu, toplinsku ili energiju hlađenja, još je uvijek veći od ukupne svjetske potrošnje energije.

### 1.3.1. Poticaji i promidžba solarnih sustava za pripremu potrošne tople vode

Već je nekoliko Županija u Hrvatskoj, u suradnji sa Fondom za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (FZOEU), objavilo javni natječaj za sufinanciranje ugradnje solarnih sustava u kućanstvima kod fizičkih osoba. Karlovačka županija za 60 kućanstava u iznosu od 40% ukupne investicije, odnosno do maksimalnog iznosa od 12 000 kn po kućanstvu. Krapinsko-zagorska županija za 20 kućanstava također u iznosu od 40% ukupne investicije, odnosno do maksimalnog iznosa od 12 000 kn po kućanstvu. Zagrebačka županija za 50 kućanstava u iznosu od 40% ukupne investicije, odnosno do maksimalnog iznosa od 11.200 kn po kućanstvu. Ovih 130 kućanstava smanjit će okolišu emisiju ugljikova dioksida preko 110 tona godišnje [1]. Uskoro će i druge Županije, posebno se to očekuje od primorskih Županija, objaviti javni natječaj za sufinanciranje tj. poticanje ugradnje solarnih sustava čija je temeljna shema dana na slici 3.



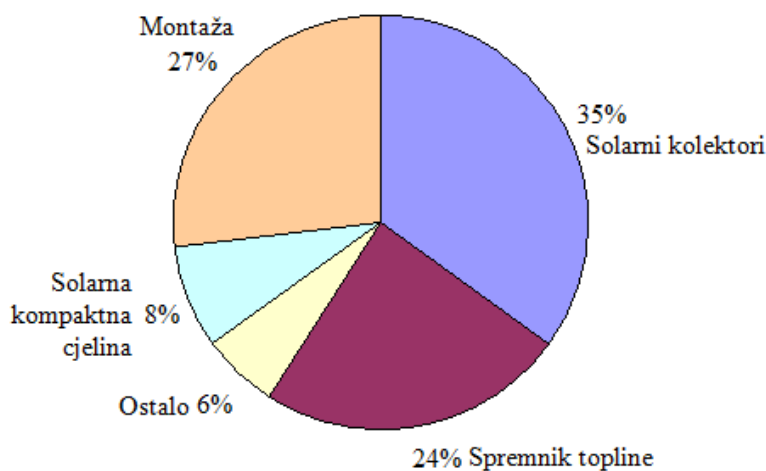
Slika 3. Solarni sustavi za pripremu potrošne tople vode [1]

Solarizaciju Hrvatske, u djelu ugradnje solarnih sustava za grijanje i/ili pripremu potrošne tople vode, nije moguće ostvariti samo dijelom poticaja, već se ostatak sredstava za investiciju mora dobiti povoljnim tzv. „zelenim kreditima“, a čija kamata ne bi smjela preći 3%.

Cijena solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode, prikazanog na slici 3, sa ugradnjom i puštanjem u pogon, kreće se oko 30 000 kuna. Takva investicija otplati se kroz razdoblje 5 do 8 godina u unutrašnjosti, a u priobalju i na otocima kroz 3 do 5 godina.

Ako Republika Hrvatska doista prihvati sustav potpora i zelenih kredita za ugradnju solarnih kolektora, što je već niz godina praksa u većini zemalja Europske unije [5], u tom slučaju ostvarit će se novi transfer tehnologija i viši oblici suradnje s razvijenim svijetom i Europskom unijom, viša razina inozemnih ulaganja, a time će se otvarati i nova, prijeko potrebna, radna mjesta [6].

Radna mjesta kod ugradnje solarnih sustava za grijanje i/ili pripremu potrošne tople vode mogu biti različita, od projektiranja, montaže, nadzora, puštanja u pogon, održavanja pa do marketinga i promidžbe ovih sustava [7]. Slika 4 prikazuje uobičajenu raspodjelu troškova kod ugradnje solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode jednog manjeg kućanstva.



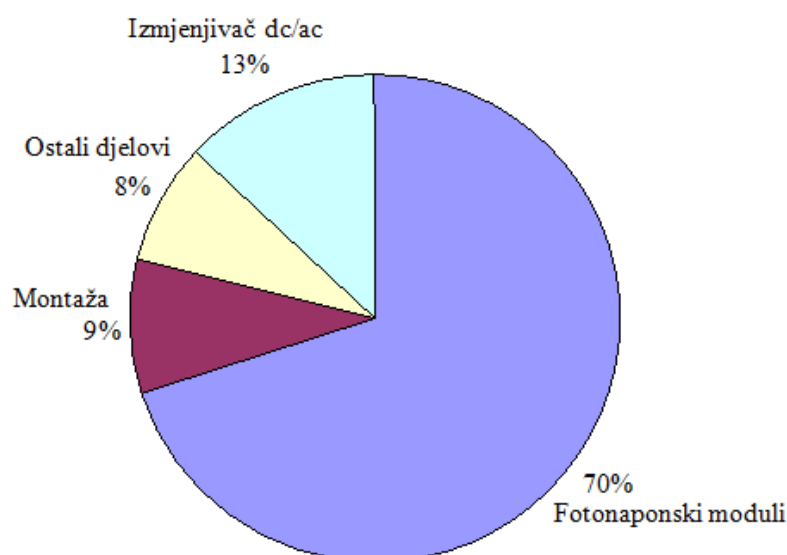
**Slika 4. Udjeli troškova ugradnje solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode kućanstva s jednom do dvije obitelji [1]**

### 1.3.2. Poticaji i promidžba fotonaponskih sustava priključenih na javnu elektroenergetsku mrežu preko kućne instalacije

Obzirom da fotonaponski sustav proizvodi najviše električne energije sredinom dana on, ne samo da pomaže rasterećenju mreže tijekom vršnih opterećenja, nego se takvom električnom energijom, proizvedenom fotonaponskim modulima, prvenstveno napajaju trošila, a višak se predaje javnoj elektrodistribucijskoj mreži. [1]

Stoga poticanje ugradnje fotonaponskih sustava na građevine koje već imaju električni priključak i vlastitu potrošnju te tako priključeni na javnu elektroenergetsku mrežu preko vlastite tzv. kućne mreže mora biti prioritet dobivanja električne energije iz fotonaponskih sustava projekta solarizacije Hrvatske. Ovakvi sustavi su očiti primjeri distribuirane proizvodnje električne energije koji se posebno potiču, na primjer sustavom zajamčenih tarifa [8], i imaju veliku promidžbu u energetskej politici Europske unije.

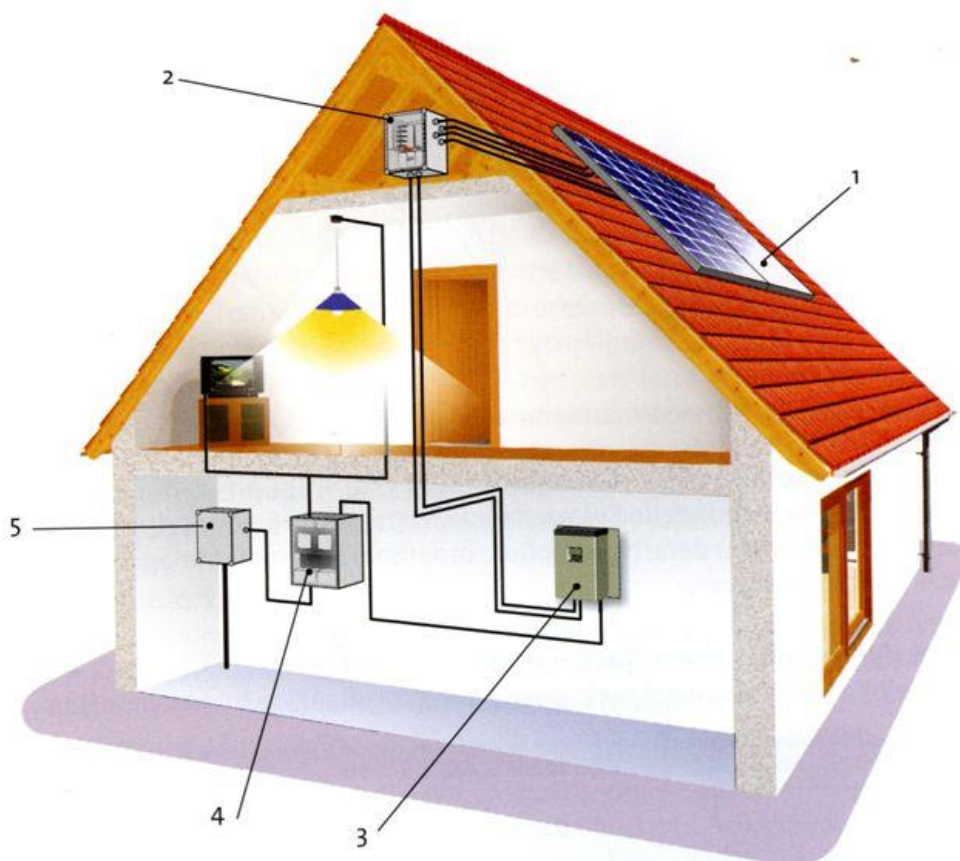
Različita su radna mjesta kod ugradnje fotonaponskih sustava. To su radna mjesta na projektiranju, montaži, nadzoru, puštanju u pogon, održavanju, marketingu i promidžbi ovih sustava i još nekim drugim područjima [9]. Raspodjela troškova manjeg fotonaponskog sustava, snage do 10 kW, prikazana je na slici 5. Ovdje nije uzeta u obzir cijena priključka na mrežu, kao i PDV i marža pojedinih prodavača jer se želio prikazati odnos u cijeni pojedinih komponenata jednog solarnog fotonaponskog sustava.



Slika 5. Udjeli troškova manjeg fotonaponskog sustava priključenog na javnu mrežu preko kućne instalacije [1]



Temeljna shema sa glavnim komponentama fotonaponskog sustava koji će se primjeniti u ovom radu prikazana je na slici 6.



1. Fotonaponski moduli
2. Spojna kutija sa zaštitnom opremom
3. Izmjenjivač dc/ac
4. Brojila predane i preuzete električne energije
5. Priključak na mrežu

**Slika 6. Fotonaponski sustav priključen na javnu mrežu preko kućne instalacije [1]**

Solarizacijom Hrvatske, u djelu ugradnje fotonaponskih sustava te tvornicama koje proizvode fotonaponske module i ostale dijelove fotonaponskih sustava, moglo bi se otvoriti oko 3 000 novih radnih mjesta.



## 2. METODE I PODACI

### 2.1. Podjela po županijama

Temeljna jedinica regionalne samouprave je županija. Sadašnja upravno-teritorijalna podjela uvedena je 1997. godine, kada je promijenjena podjela iz 1992. Manje administrativno-teritorijalne jedinice u sastavu županija su gradovi u urbanim područjima odnosno općine u ostalim područjima. Zakonom iz 2006. godine Hrvatska ima 127 gradova i 429 općina.

Županija kao jedinica teritorijalne podjele u Hrvatskoj ima dugačku tradiciju. Spominje se od 10. st., isprva u južnom dijelu zemlje, a potom i u sjevernom. U različitu broju te s promjenljivim teritorijalnim opsegom, načinom ustroja i ovlastima, održale su se do 20. st. Nakon razvojačenja Vojne granice 1881. na području Kraljevine Hrvatske i Slavonije bilo je osam županija: modruško-riječka, ličko-krbavska, zagrebačka, varaždinska, bjelovarsko-križevačka, požeška, virovitička i srijemska [10].

Hrvatska je danas podijeljena na **dvadeset županija** i Grad Zagreb koji ima položaj županije (Slika 7.)



Slika 7. Županije u Republici Hrvatskoj [10]

U tablici 1 se može vidjeti ukupni broj stanovnika po pojedinim županijama (podaci su uzeti prema zadnjem popisu stanovništva, 2011. godina) i gradove/nositelje županije. Grad/nositelj županije predstavlja najmnogoljudniji grad u pojedinoj županiji i upravo za taj grad će se uzeti svi potrebni podaci za proračun solarnih dobitaka kako bi po županijama proračun bi što točniji.

**Tablica 1. Broj stanovnika po županijama u Republici Hrvatskoj [11]**

R.br.	Županija	Ukupni broj Stanovnika	Grad/ Nositelj
1	Zagrebačka županija	317 606	Zagreb
2	Krapinsko-zagorska županija	132 892	Krapina
3	Sisačko-moslavačka županija	172 439	Sisak
4	Karlovačka županija	128 899	Karlovac
5	Varaždinska županija	175 951	Varaždin
6	Koprivničko-križevačka županija	115 584	Križevci
7	Bjelovarsko-bilogorska županija	119 764	Daruvar
8	Primorsko-goranska županija	296 195	Rijeka
9	Ličko-senjska županija	50 927	Gospić
10	Virovitičko-podravka županija	84 836	Virovitica
11	Požeško-slavonska županija	78 034	Požega
12	Brodsko-posavska županija	158 575	Sl. Brod
13	Zadarska županija	170 017	Zadar
14	Osječko-baranjska županija	305 032	Osijek
15	Šibensko-kninska županija	109 375	Šibenik
16	Vukovarsko-srijemska županija	179 521	Vukovar
17	Splitsko-dalmatinska županija	454 798	Split
18	Istarska županija	208 055	Pula
19	Dubrovačko-neretvanska županija	122 568	Dubrovnik
20	Međimurska županija	113 804	Čakovec
21	Grad Zagreb	790 017	Zagreb
-	Republika Hrvatska	4 284 889	-

Obiteljske i dvojne kuće predstavljaju oko 65%, a višestambene zgrade oko 35% ukupnog stambenog fonda. U kontinentalnom dijelu nalazi se oko 65%, a u obalnom dijelu Republike Hrvatske nalazi se oko 35 % ukupnog stambenog fonda [12].

**Višestambena zgrada** u smislu ovoga rada je svaka ona zgrada koja je u cijelosti ili u kojoj je više od 50 % bruto podne površine namijenjeno za stanovanje te ima tri ili više stambenih jedinica, i kojom upravlja upravitelj zgrade, koji je pravna ili fizička osoba, u skladu sa Zakonom o vlasništvu i drugim stvarnim pravima [12].

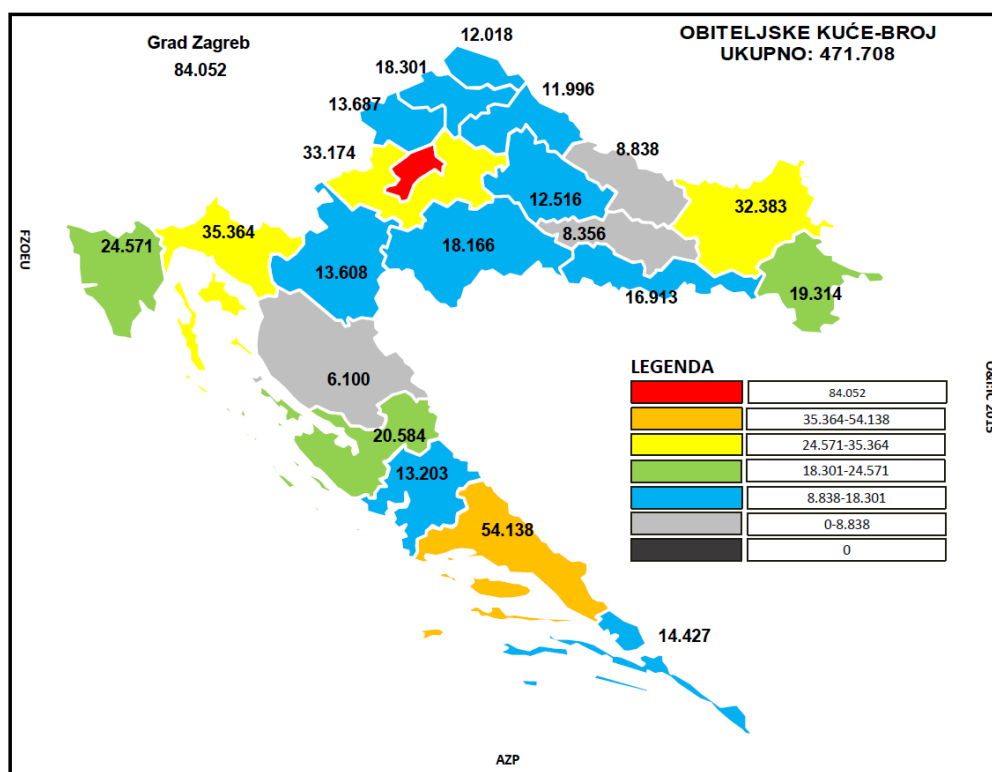
**Obiteljska kuća** je zgrada koja je u cijelosti ili u kojoj je više od 50 % bruto podne površine namijenjeno za stanovanje te ima najviše dvije stambene jedinice, izgrađena na zasebnoj građevnoj čestici i građevinske bruto površine manje ili jednake 400 m<sup>2</sup> [13].

Višestambene zgrade čine 35 % ukupnog stambenog fonda od čega je 36 % zgrada u Jadranskoj Hrvatskoj, a 64 % u kontinentalnoj Hrvatskoj.

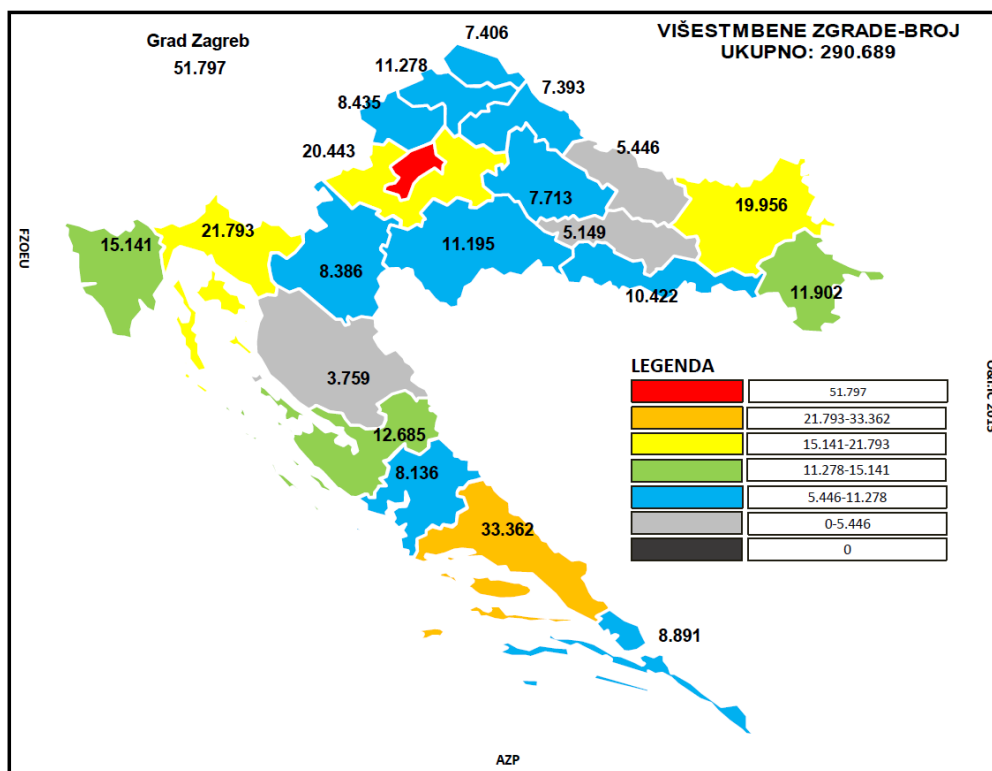
Podatak o broju obiteljskih kuća i višestambenih zgrada se dobio od "Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost – FZOEU".

**Tablica 2. Broj obiteljskih kuća i višestambenih zgrada po županijama**

R.br.	Županija	Obiteljske kuće	Višestambene zgrade
1	Zagrebačka županija	33 174	20 443
2	Krapinsko-zagorska županija	13 687	8 435
3	Sisačko-moslavačka županija	18 166	11 195
4	Karlovačka županija	13 608	8 386
5	Varaždinska županija	18 301	11 278
6	Koprivničko-križevačka županija	11 996	7 393
7	Bjelovarsko-bilogorska županija	12 516	7 713
8	Primorsko-goranska županija	35 364	21 793
9	Ličko-senjska županija	6 100	3 759
10	Virovitičko-podravska županija	8 838	5 446
11	Požeško-slavonska županija	8 356	5 149
12	Brodsko-posavska županija	16 913	10 422
13	Zadarska županija	20 584	12 685
14	Osječko-baranjska županija	32 383	19 956
15	Šibensko-kninska županija	13 203	8 136
16	Vukovarsko-srijemska županija	19 314	11 902
17	Splitsko-dalmatinska županija	54 138	33 362
18	Istarska županija	24 571	15 141
19	Dubrovačko-neretvanska županija	14 427	8 891
20	Međimurska županija	12 018	7 406
21	Grad Zagreb	84 052	51 797
-	Republika Hrvatska	471 708	290 689



Slika 8. Broj obiteljskih kuća po županijama



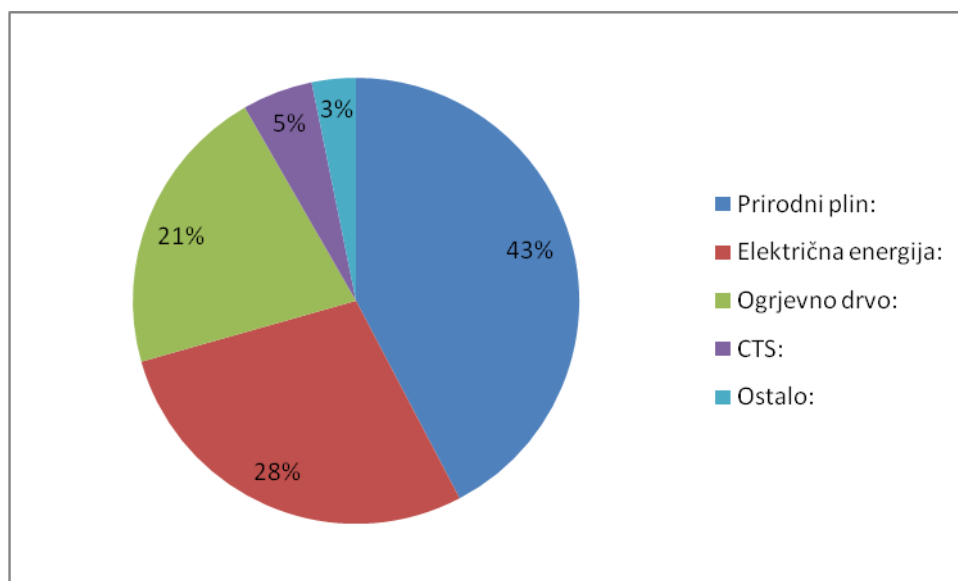
Slika 9. Broj višestambenih zgrada po županijama

Ukupna finalna potrošnja energije u kućanstvima u Republici Hrvatskoj za pripremu PTV-a prema podacima iz 2012. godine iznosi 2 990 887 MWh. Od tog ukupnog broja, 2 252 429 MWh se odnosi na kontinentalnu Hrvatsku, a 738 458 MWh se odnosi na Jadransku Hrvatsku [14].

**Tablica 3. Finalna potrošnja energije za pripremu PTV-a u 2012. godini po županijama [14]**

R.br.	Županija	Finalna potrošnja energije za pripremu PTV-a po županijama [MWh]
1	Zagrebačka županija	231 950
2	Krapinsko-zagorska županija	131 179
3	Sisačko-moslavačka županija	119 385
4	Karlovačka županija	78 751
5	Varaždinska županija	170 765
6	Koprivničko-križevačka županija	90 356
7	Bjelovarsko-bilogorska županija	83 227
8	Primorsko-goranska županija	190 328
9	Ličko-senjska županija	18 639
10	Virovitičko-podravska županija	53 836
11	Požeško-slavonska županija	55 263
12	Brodsko-posavska županija	88 983
13	Zadarska županija	68 954
14	Osječko-baranjska županija	212 504
15	Šibensko-kninska županija	78 289
16	Vukovarsko-srijemska županija	101 545
17	Splitsko-dalmatinska županija	209 376
18	Istarska županija	124 795
19	Dubrovačko-neretvanska županija	48 077
20	Međimurska županija	93 156
21	Grad Zagreb	741 529
-	Republika Hrvatska	2 990 887

Najviše se troši prirodnog plina za pripremu PTV-a. Točnije, 1 265 671 MWh energije prirodnog plina, zatim slijedi električna energija sa 845 855 MWh i ogrjevno drvo sa 631 066 MWh. Nešto ima i energije i iz CTS sustava, oko 152 803 MWh [14]. Odnos u postotcima može se vidjeti na slici 10.



Slika 10. Podjela goriva za zagrijavanje PTV-a u RH za 2012. godinu

## 2.2. Doprinos toplinske energije dobivene iz solarnih toplinskih kolektora

Doprinos toplinske energije solarnog toplinskog sustava se može iskoristiti bilo za pripremu PTV-a, kao potpora grijanju prostora ili danas, već modernije, kao već predgrijana voda za perilice rublja ili suđa. Radi pojednostavljenja proračuna, pretpostaviti će se samo priprema PTV-a za obiteljska kućanstva i višestambene zgrade.

### 2.2.1. Polazni podaci solarnog sustava za pripremu PTV-a

Polazni podaci za proračun solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode [1]

1. Klimatski podaci na lokaciji solarnog sustava:

- zemljopisna širina,  $\varphi$
- dnevne vrijednosti ukupne Sunčeve ozračenosti vodoravne plohe,  $H$
- srednja temperatura zraka okoline,  $\vartheta_z$

2. Podaci o solarnom kolektoru:

- optički stupanj djelovanja,  $F_R(\tau\alpha)$
- efektivni koeficijent prolaza topline,  $F_Rk$
- broj pokrova kolektora,
- kut nagiba,  $\beta$
- površina kolektora  $A_k$  (do 120 m<sup>2</sup>)

3. Specifični maseni protok, u kolektorima s tekućim nosiocem topline u odnosu na 1 m<sup>2</sup> površine kolektora za vodu i tekućine otporne na smrzavanje, mora biti u području od 0,005 do 0,02 kg/s.
4. Specifični volumen spremnika potrošne tople vode, u odnosu na 1 m<sup>2</sup> površine kolektora kod solarnih sustava sa kolektorima s tekućim nosiocem topline, mora biti u području od 37,5 do 300 litara.
5. Podaci o izmjenjivaču topline u kolektorskom krugu odnosno u krugu odvođenja toplinske energije (vrsta izmjenjivača, vrsta toplinskog medija)
6. Podaci za određivanje ukupne toplinske energije  $Q_p$ :
  - broj potrošača (osoba),
  - potrošnja tople vode po osobi i danu (20-120 l/d),
  - temperatura hladne vode,  $\vartheta_{hv}$  (5-15 °C)
  - temperatura tople vode,  $\vartheta_v$  (45-60 °C)
7. Vrsta dodatnog zagrijavanja (kotao ložen uljem odnosno plinom ili kogeneracijsko postrojenje) i stupanj djelovanja dodatnog zagrijavanja kao i donja ogrjevna vrijednost goriva.

### Proračunski rezultati

Postupak  $f$ -Chart na temelju ukupne toplinske energije, odnosno potrebne energije za grijanje i pripremu potrošne tople vode,  $Q_p$ , površine kolektora,  $A_k$  i volumena spremnika topline,  $V$  daje mjesečne i godišnje vrijednosti:

- solarnog stupanja pokrivanja,  $f$
- energetskog doprinosa solarnog sustava,  $Q_k$
- potrošnje dodatne energije,  $Q_d$
- stupnja djelovanja solarnog sustava,  $\eta$

### 2.2.2. Metodički pristup proračunu solarnog sustava postupkom *f*-Chart

Proračun solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode i/ili grijanja postupkom *f*-Chart sustavno se provodi za svaki mjesec u godini [15][16][17][18].

#### Mjesečna srednja vrijednost dnevne Sunčeve ozračenosti na površinu kolektora:

##### Korak 1.

Broj dana  $n$  srednjeg dana u mjesecu uzima se iz tablice 4.

**Tablica 4. Deklinacija Sunca, visina Sunca, satni kut Sunca, vrijeme izlaska i zalaska Sunca i trajanje Sunčeva dana u Zagrebu [19]**

Dan	Red. br. dana, $n$	Deklinacija $\delta^\circ$	Visina Sunca, $\alpha^\circ$	Satni kut Sunca, $\omega^\circ$	*Izlazak Sunca	*Zalazak Sunca	*Trajanje Sunč. dana
01.01	1	-23,01	21,17	64,09	7 h 44 min	16 h 16 min	8 h 32 min
15.01	15	-21,27	22,91	66,38	7 h 34 min	16 h 25 min	8 h 51 min
01.02	32	-17,52	26,66	71,04	7 h 16 min	16 h 44 min	9 h 29 min
15.02	46	-13,29	30,89	75,93	6 h 56 min	17 h 4 min	10 h 7 min
01.03	60	- 8,29	35,89	81,38	6 h 34 min	17 h 26 min	10 h 52 min
15.03	74	- 2,82	41,36	87,09	6 h 11 min	17 h 49 min	11 h 37 min
22.03	81	0,00	44,18	90,00	6 h 00 min	18 h 00 min	12 h 00 min
01.04	91	4,02	48,20	94,15	5 h 43 min	18 h 17 min	12 h 34 min
15.04	105	9,41	53,59	99,82	5 h 21 min	18 h 39 min	13 h 2 min
01.05	121	14,90	59,08	105,89	4 h 56 min	19 h 4 min	14 h 7 min
15.05	135	18,79	62,97	110,49	4 h 38 min	19 h 22 min	14 h 44 min
01.06	152	22,04	66,22	114,62	4 h 22 min	19 h 38 min	15 h 17 min
15.06	166	23,31	67,49	116,32	4 h 15 min	19 h 45 min	15 h 3 min
21.06	172	23,45	67,63	116,51	4 h 14 min	19 h 46 min	15 h 32 min
01.07	182	23,12	67,30	116,06	4 h 16 min	19 h 44 min	15 h 29 min
15.07	196	21,52	65,70	113,94	4 h 24 min	19 h 36 min	15 h 1 min
01.08	213	17,91	62,09	109,42	4 h 43 min	19 h 17 min	14 h 35 min
15.08	227	13,78	57,96	104,62	5 h 2 min	18 h 58 min	13 h 56 min
01.09	244	7,72	51,90	98,02	5 h 28 min	18 h 32 min	13 h 4 min
15.09	258	2,22	46,40	92,29	5 h 51 min	18 h 9 min	12 h 2 min
21.09	264	0,00	44,00	90,00	6 h 00 min	18 h 00 min	12 h 00 min
01.10	274	- 4,22	39,96	85,65	6 h 17 min	17 h 43 min	11 h 25 min
15.10	288	- 9,60	34,58	79,98	6 h 40 min	17 h 20 min	10 h 40 min
01.11	305	-15,36	28,82	73,58	7 h 5 min	16 h 55 min	9 h 49 min
15.11	319	-19,15	25,03	69,06	7 h 24 min	16 h 36 min	9 h 1 min
01.12	335	-22,11	22,07	65,29	7 h 39 min	16 h 21 min	8 h 4 min
15.12	349	-23,34	20,84	63,64	7 h 46 min	16 h 14 min	8 h 29 min
21.12	355	-23,45	20,73	63,49	7 h 46 min	16 h 14 min	8 h 28 min
31.12	365	-23,09	21,09	63,98	7 h 44 min	16 h 16 min	8 h 32 min



**Korak 2.**

Deklinacija ( $\delta$ ) Sunca za srednji dan u mjesecu proračunava se prema jednadžbi:

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left( 360^\circ \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2)$$

$n$  redni broj dana u godini ,

odnosno uzima se iz tablice 4.

**Korak 3.**

Kut izlaska odnosno zalaska Sunca ( $\omega_s$ ) za horizontalnu površinu proračunava se prema jednadžbi:

$$\omega_s = \arccos \left( -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta \right), \quad (3)$$

a za nagnutu površinu pod kutom  $\beta$ ,  $\omega_{s\beta}$  za srednji dan u mjesecu izračunava se prema jednadžbi:

$$\omega_{s\beta} = \min \left\{ \omega_s, \arccos \left[ -\operatorname{tg}(\varphi - \beta) \operatorname{tg} \delta \right] \right\} \quad (4)$$

gdje je:

$\omega_s$  vremenski kut izlaska (zalaska) Sunca za vodoravnu plohu, °

$\omega_{s\beta}$  vremenski kut izlaska (zalaska) Sunca na nagnutu plohu, °

**Korak 4.**

Srednja mjesečna vrijednost faktora preračunavanja  $R_b$  za dnevno direktno zračenje proračunava se prema jednadžbi:

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega_{s\beta} + \frac{\pi}{180} \omega_{s\beta} \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin \varphi \sin \delta} \quad (5)$$

**Korak 5.**

Srednja mjesečna vrijednost faktora preračunavanja  $R$  za dnevno ukupno zračenje proračunava se prema jednadžbi:

$$R = \left[ \left( 1 - \frac{H_d}{H} \right) R_b + \frac{H_d}{H} \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \frac{1 - \cos \beta}{2} \right] \quad (6)$$

Za stupanj refleksije (albedo) tla može se uzeti:  $\rho = 0,2$  za razdoblje bez snijega i  $\rho = 0,7$  za zimu sa snijegom (tablica 5.).

**Tablica 5. Neki podaci o albedu na Zemlji [20]**

Sredstvo koje odbija zračenje	Albedo %
1. Zemljana površina	
pustinje	15 do 30
zelena polja	3 do 15
šume	3 do 22
uzorana polja	4 do 12
jezera i oceani	2 do 18
led	43 do 60
svježi snijeg	68 do 100
2. Oblaci	
tanki	15 do 30
srednje debeli	30 do 70
debili	70 do 96
3. Atmosfera	7

**Korak 6.**

Srednju mjesečnu vrijednost dnevne Sunčeve ozračenosti  $H_\beta$  na nagnutu površinu kolektora proračunavamo prema jednadžbi:

$$H_\beta = \left[ \left( 1 - \frac{H_d}{H} \right) R_b + \frac{H_d}{H} \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \frac{1 - \cos \beta}{2} \right] \cdot H = RH \quad \text{J/m}^2 \quad (7)$$

Izraz u uglatoj zagradi označen s  $R$  znači omjer između srednje dnevne ozračenosti nagnute i vodoravne plohe za pojedini mjesec.

U tablici 6. dani su rezultati proračuna, prema jednadžbi (7), srednje dnevne ozračenosti nagnute plohe pod kutom 45° i 90° za Split i Zagreb.

**Tablica 6. Srednja dnevna ozračenost nagnutog kolektora,  $H_p$ , MJ/m<sup>2</sup> [19]**

Nagib plohe	0°	0°	45°	45°	90°	90°
Mjeseci	Split	Zagreb	Split	Zagreb	Split	Zagreb
I	6,5	3,7	11,6	5,4	11,3	5,0
II	9,8	6,5	15,0	9,1	13,4	7,9
III	14,3	9,7	17,9	11,3	13,5	8,5
IV	18,6	14,8	19,0	15,0	11,8	9,7
V	23,3	19,3	21,0	17,4	11,2	10,0
VI	25,9	20,6	21,8	17,8	10,9	9,7
VII	25,4	21,3	22,0	18,7	11,3	10,3
VIII	22,4	18,7	21,8	18,3	12,7	11,0
IX	17,4	14,0	20,4	16,2	14,4	11,4
X	12,7	8,3	19,0	11,3	16,4	9,5
XI	7,4	3,6	13,0	4,6	12,5	4,0
XII	5,7	2,7	11,0	3,5	11,0	3,1

### Ukupna mjesečna toplinska energija za grijanje i pripremu potrošne tople vode

#### Korak 7.

Toplinska energija za grijanje  $Q_{gr}$  proračunava se prema jednadžbi:

$$Q_{gr} = 24 \cdot 3600 (k A)_{zg} N_{sd} \quad \text{J} \quad (8)$$

gdje je:

$k$  srednji koeficijent prolaza topline zgrade, W/m<sup>2</sup>K

$A_{zg}$  vanjska površina zgrade, m<sup>2</sup>

$N_{sd}$  broj stupanj-dana u mjesecu, K/dan

Broj stupanj-dana  $N_{sd}$  u mjesecu je zbroj razlika između referentne temperature prostora i srednje dnevne temperature okolnog zraka (uzimaju se u obzir samo pozitivne vrijednosti):

$$N_{sd} = \sum_{n=1}^{N_d} (\vartheta_r - \vartheta_z) \quad (9)$$

gdje je:

- $N_d$  broj dana u mjesecu,  
 $\vartheta_r$  referentna temperatura prostora, °C (na primjer 18 °C)  
 $\vartheta_z$  srednja dnevna temperatura okolnog zraka, °C

**Korak 8.**

Toplinska energija za pripremu potrošne tople vode  $Q_{ptv}$  proračunava se prema jednadžbi:

$$Q_{ptv} = N_d N_o b \rho_v c_v (\vartheta_{tv} - \vartheta_{hv}) \quad \text{J} \quad (10)$$

gdje je:

- $N_d$  broj dana u mjesecu,  
 $N_o$  broj osoba,  
 $b$  potrošnja tople vode po osobi i danu, lit  
 $\rho_v$  gustoća vode, (1 kg/lit)  
 $c_v$  specifični toplinski kapacitet vode, J/kgK  
 $\vartheta_{tv}$  temperatura tople vode, °C  
 $\vartheta_{hv}$  temperatura hladne vode, °C

**Korak 9.**

Ukupna mjesečna toplinska energija za grijanje i pripremu potrošne tople vode  $Q_p$  proračunava se prema jednadžbi:

$$Q_p = Q_{gr} + Q_{ptv} \quad \text{J} \quad (11)$$

**Mjesečni solarni stupanj pokrivanja:****Korak 10.**

Izbor polazne vrijednosti površine kolektora  $A_k$  je prema osnovnom pravilu ili prema preporukama koje se temelje na iskustvu. Može se primjerice izabrati 1 do 1,5 m<sup>2</sup> površine kolektora po potrošaču za jedan solarni sustav za pripremu potrošne tople vode s vrlo efikasnim pločastim kolektorima.

**Korak 11.**

Parametri  $X$  i  $Y$  izračunavaju se prema jednadžbama:

$$X = \frac{A_k F_R k (\vartheta - \vartheta_z) \Delta t}{Q_p} \quad (12)$$

gdje je:

- $A_k$  površina kolektora,  $m^2$
- $F_R$  faktor koji određuje prijenos topline iz kolektora na fluid,
- $k$  ukupni koeficijent prolaza topline,  $W/m^2K$
- $\vartheta$  referentna temperatura ( $100\text{ }^\circ\text{C}$ ),
- $\vartheta_z$  srednja temperatura zraka u pojedinom mjesecu,  $^\circ\text{C}$
- $\Delta t$  ukupni broj sekundi u mjesecu,
- $Q_p$  ukupna toplinska energija za čitav mjesec, J

Parametar  $Y$  odnos je Sunčeve energije apsorbirane u apsorberu kolektora, tijekom jednog mjeseca, prema ukupnoj toplinskoj energiji za taj mjesec:

$$Y = \frac{A_k F_R (\tau\alpha)_{\text{ef}} H_\beta N_d}{Q_p} \quad (13)$$

gdje je:

- $(\tau\alpha)_{\text{ef}}$  srednji efektivni umnožak transmisijskog i apsorpcijskog faktora,
- $H_\beta$  mjesečni prosjek dnevne ozračenosti nagnute plohe kolektora,  $J/m^2$
- $N_d$  broj dana u mjesecu,

**Korak 12.**

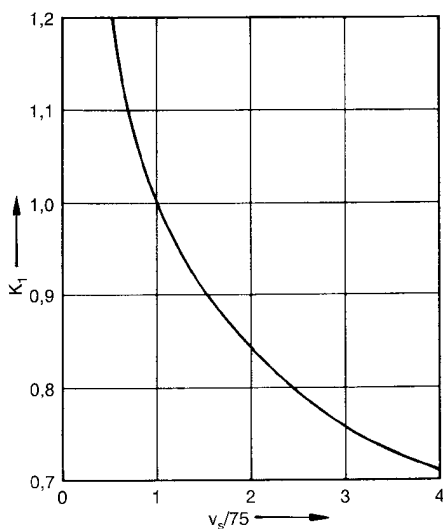
Potrebno je odrediti odnose  $F_R'/F_R$  i  $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ .

**Korak 13.**

Proračunati faktor korekcije  $K_1$  i  $K_2$  odnosno  $K_3$  i  $K_4$ . Na primjer faktor korekcije  $K_1$  prema jednadžbi [21][22][23]:

$$K_1 = \left( \frac{v_s}{75} \right)^{-0,25} \quad (14)$$

ili uzeti sa slike 11.



Slika 11. Faktor korekcije  $K_1$  u ovisnosti o specifičnom volumeni  $v_s$

#### Korak 14.

Za solarne sustave za zagrijavanje potrošne tople vode faktor korekcije  $K_5$  izračunava se prema jednadžbi:

$$K_5 = \frac{(11,6 + 1,18 T_{lv} + 3,36 T_{hv} - 2,32 T_z)}{(100 - T_z)} \quad (15)$$

#### Korak 15.

Parametar  $X$  za solarne sustave za grijanje s kolektorima s tekućim medijem može se korigirati kako slijedi:

$$X_{kor} = X \left( \frac{F'_R}{F_R} \right) K_1 \quad (16)$$

Parametar  $X$  za solarne sustave za pripremu potrošne tople vode s kolektorima s tekućim medijem može se korigirati kako slijedi:

$$X_{\text{kor}} = X \left( \frac{F'_R}{F_R} \right) K_1 K_5 \quad (17)$$

**Korak 16.**

Parametar  $Y$  za solarne sustave za grijanje s kolektorima s tekućim medijem može se korigirati kako slijedi:

$$Y_{\text{kor}} = Y \left[ \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] K_2 \quad (18)$$

Za solarne sustave za pripremu potrošne tople vode  $K_2$  jednak je 1.

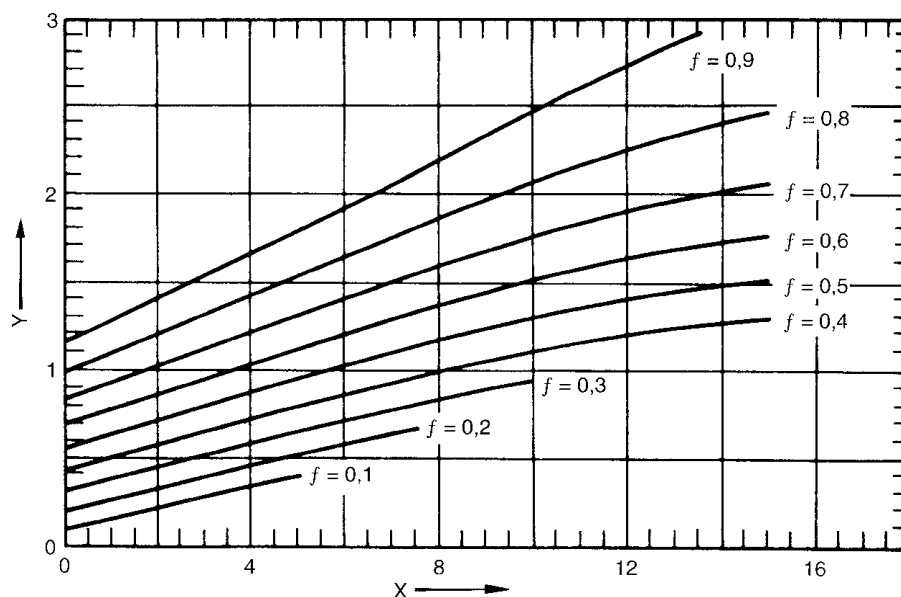
**Korak 17.**

Mjesečni solarni stupanj pokrivanja  $f$  za solarne sustave s kolektorima s tekućim medijem određuje se iz jednadžbe:

$$f = 1,029 Y - 0,065 X - 0,245 Y^2 + 0,0018 X^2 + 0,0215 Y^3 \quad (19)$$

Navedena jednadžba vrijedi za:  $0 < X < 18$  i  $0 < Y < 3$ .

ili sa slike 9 [21][22][23].



**Slika 12.  $f$ -dijagram za solarne sustave s kolektorima s tekućim nosiocem topline**

### Mjesečne vrijednosti energetskeg doprinosa solarnog sustava, potrebe dodatne energije i stupanja djelovanja solarnog sustava:

#### Korak 18.

S ukupnom mjesečnom toplinskom energijom  $Q_p$ , koja se proračunava prema jednadžbama (8 do 10), i mjesečnim solarnim stupnjem pokrivanja  $f$ , određenim prema koraku 17, možemo odrediti mjesečni energetskeg doprinos  $Q_k$  solarnog sustava:

$$Q_k = f Q_p \quad \text{J} \quad (20)$$

#### Korak 19.

Za potrebnu količinu dodatne energije  $Q_d$  u tom mjesecu vrijedi:

$$Q_d = Q_p - Q_{k,m} \quad \text{J} \quad (21)$$

#### Korak 20.

Za mjesečni stupanj djelovanja  $\eta$  solarnog sustava vrijedi:

$$\eta = \frac{Q_k}{A_k H_\beta N_d} \quad (22)$$

gdje je:

- $Q_k$     mjesečni energetskeg doprinos solarnog sustava, J
- $A_k$     površina apsorbera kolektora, m<sup>2</sup>
- $H_\beta$     mjesečna srednja vrijednost dnevne ukupne ozračenosti na nagnuti kolektor, MJ/m<sup>2</sup>d
- $N_d$     broj dana u mjesecu,

### Godišnje vrijednosti energetskeg doprinosa solarnog sustava, potrebe dodatne energije, solarnog stupnja pokrivanja i stupanja djelovanja solarnog sustava:



Proračunski koraci 1 do 20 ponavljaju se za sve mjesece u godini s unaprijed izabranom površinom kolektora  $A_k$ .

**Korak 21.**

Godišnji energetske doprinos solarnog sustava proračunava se kao zbroj mjesečnih vrijednosti  $Q_k$ :

$$Q_{k,g} = \sum Q_k \quad J \quad (23)$$

**Korak 22.**

Godišnja potrebna toplinska energija sustava proračunava se kao zbroj mjesečnih vrijednosti  $Q_p$ :

$$Q_{p,g} = \sum Q_p \quad J \quad (24)$$

**Korak 23.**

Godišnja potreba energije dodatnog grijanja proračunava se kako slijedi:

$$Q_{d,g} = \sum Q_d = Q_{p,g} - Q_{k,g} \quad J \quad (25)$$

**Korak 24.**

Za godišnji solarni stupanj pokrivanja (solarni doprinos) solarnog sustava vrijedi:

$$f_g = \frac{Q_{k,g}}{Q_{p,g}} \quad (26)$$

### 2.3. Doprinos električne energije iz fotonaponskih sustava

Fotonaponski moduli površine ukupno instalirane snage 5 kWp postavljeni su na krov građevine pod kutom  $30^\circ$  i azimutom  $\pm 30^\circ$ . Stupanj djelovanja modula je  $\eta_m=0,16$ .

#### 2.3.1. Programi za simulaciju, dimenzioniranje i oblikovanje fotonaponskih sustava

Postoji više programa kojima se može simulirati rad fotonaponskih sustava kao što su PV f-Chart, DASTPVPS, Greenius, Homer, PVcad, PV Design Pro, PVS, PV\*Sol, PVSYST, SOLDIM, SolEm i mnogi drugi [24]. Većina navedenih programa može se međusobno uspoređivati jer se temelje na istim ulaznim parametrima. Postoje detaljne usporedbe simulacija s rezultatima mjerenja provedenim na stvarnom radu fotonaponskih sustava. Pri simulacijama možemo mijenjati ulazne parametre te tako istraživati i procjenjivati različite konfiguracije fotonaponskih sustava obzirom na dugoročno dobivenu električnu energiju [25].

Značajan je PVGIS sustav (engl. Photovoltaic Geographical Information System) koji daje procjenu proizvodnje električne energije iz fotonaponskih sustava na temelju geografske karte u Europi, Africi i jugozapadnoj Aziji, gdje postoje stotine meteoroloških mjernih postaja gdje se direktno ili indirektno mjeri Sunčevo zračenje. On je dio SOLAREC (engl. Solar Electricity Action) akcije koja doprinosi primjeni obnovljivih izvora energije u Europskoj uniji kao održivog i dugoročnog sigurnog izvora energije. [1]

Vrste podataka spremljenih u PVGIS bazi podataka za Europski kontinent sadrži tri grupe razina, rezolucije 1 km x 1 km, a to su: geografski podaci (administrativne granice, gradovi), klimatski podaci (dnevna ozračenost horizontalne plohe, omjer difuznog i globalnog ozračenja, optimalni kut nagiba FN modula za maksimalno iskorištenja energije) i regionalni prosjeci za izabrana područja (godišnja suma ozračenosti, godišnja proizvodnja električne energije, optimalni kut nagiba FN modula kroz cijelu godinu).

Baza podataka za Mediteranske zemlje, Afriku i jugozapadnu Aziju sadrži prve dvije grupe razina kao i za Europski kontinent (geografski podaci i klimatski podaci) ali rezolucije 2 km x 2 km.

Pomoću simulacijskog programa PVGIS simulirati će se rad fotonaponskog sustava koristeći ulazne parametre lokacije na kojoj je instaliran FN sustav.

### 3. PRORAČUN SUSTAVA

#### 3.1. Toplinska energija dobivena iz solarnih toplinskih kolektora za pripremu PTV-a

##### 3.1.1. Polazni podaci i proračunski rezultati solarnog sustava za pripremu PTV-a

Postupakom *f*-Chart simulirati će se rad solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode za pojedine županije Republike Hrvatske, te će se na kraju pomoću ukupnog broja obiteljskih kuća pojedine županije dobiti zbirni doprinos toplinske energije za zagrijavanje PTV-a u pojedinoj županiji. Solarni sustav za pripremu potrošne tople vode ima sljedeće karakteristike:

- optički stupanj djelovanja kolektora  $F_R(\tau\alpha)_n = 0,79$
- efektivni koeficijent prolaza topline  $F_{Rk} = 3,9 \text{ W/m}^2\text{K}$
- zemljopisnu širinu nositelja gradova županija ( $\varphi$ )
- uređaj treba isporučivati potrošnu toplu vodu s temperaturom od  $50 \text{ }^\circ\text{C}$
- broj osoba je 4
- dnevna potrošnja tople vode iznosi  $50 \text{ lit/d}$  po osobi
- temperatura hladne vode je  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- kolektor je usmjeren prema jugu s nagibom  $\beta = 30^\circ$
- korisna površina kolektora  $4 \text{ m}^2$
- volumen spremnika potrošne tople vode  $300 \text{ lit}$

### 3.1.2. Proračunski rezultati

Korišten je postupak  $f$ -Chart za proračun solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode i simulacija provedena pomoću računala programom MS "Excel".

Uz navedeni metodički pristup prema poglavlju 2. kod proračuna solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart proračunava se mjesečna srednja vrijednost dnevnog ukupnog ozračenja  $H_\beta$  na nagnutu površinu kolektora prema koracima 1. do 6., zatim mjesečna potrebna toplinska energija  $Q_p$  prema koraku 9., zatim mjesečni solarni stupanj pokrivanja prema koracima 10. do 17., zatim slijede mjesečne vrijednosti energetskog doprinosa solarnog sustava, potrebe dodatne energije i stupnja djelovanja solarnog sustava prema koracima 18. do 20. pri čemu se proračunski koraci 1. do 20. ponavljaju za sve mjesece u godini s unaprijed odabranom površinom kolektora  $A_k$ . Na kraju su proračunate godišnje vrijednosti energetskog doprinosa sustava, potrebe dodatne energije, solarnog stupnja pokrivanja i stupnja djelovanja solarnog sustava prema koracima 21. do 24.

Rezultati proračuna solarnog sustava za jednu obiteljsku kuću navedenih karakteristika za područje grada Zagreba i usmjerenje kolektora prema jugu s nagibom  $\beta = 30^\circ$  dani su u tablici 7. Isto tako rezultati proračuna solarnog sustava za jednu obiteljsku kuću navedenih karakteristika za područje grada Splita i usmjerenje kolektora prema jugu s nagibom  $\beta = 30^\circ$  dani su u tablici 8.

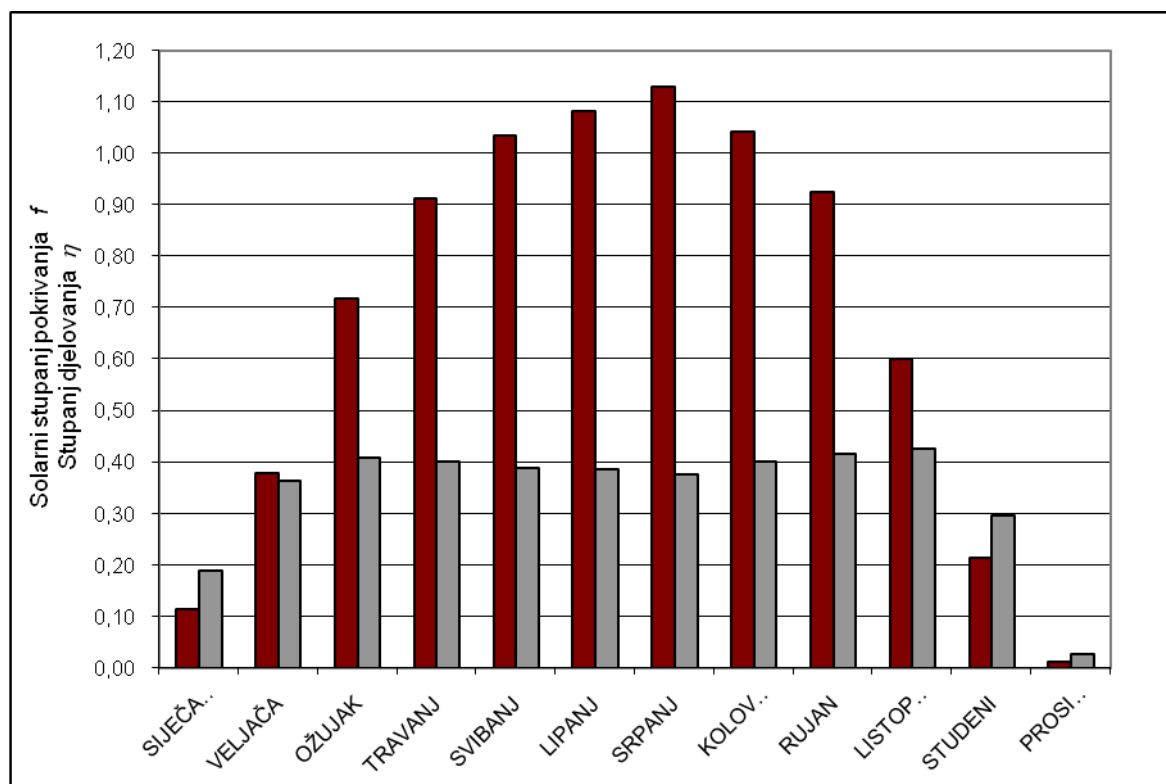
Rezultati su u tablicama prikazani kao mjesečne i godišnje vrijednosti; ukupnog ozračenja  $H_\beta$  na nagnutu površinu kolektora, toplinske energije za pripremu potrošne tople vode  $Q_{ptv}$ , energetskog doprinosa  $Q_k$  solarnog sustava, potrebe dodatne energije  $Q_d$ , solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  solarnog sustava.

Na slikama 13 i 14 prikazan je godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode za jednu obiteljsku kuću na području grada Zagreba i grada Splita.

U dodatku A, dan je godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode za jednu obiteljsku kuću za gradove/nositelje u ostalim županijama Republike Hrvatske.

**Tablica 7. Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za područje grada Zagreba**

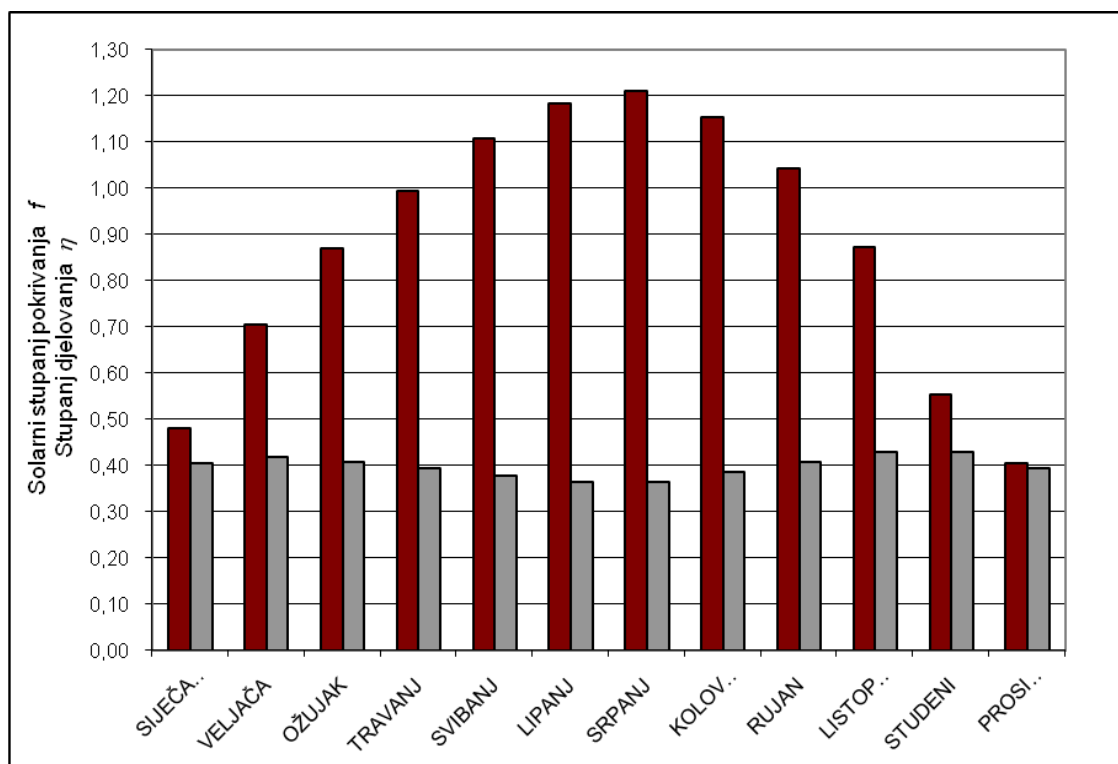
Lokacija – Zagreb		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=45,49^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{nv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=16,2^\circ$		t.v.,l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N [-]	$\vartheta_z$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$H_\beta$ [MJ/m <sup>2</sup> d]	$Q_{ptv}$ [GJ]	$X$ [-]	$Y$ [-]	$F$ [-]	$Q_k$ [GJ]	$Q_d$ [GJ]	$\eta$ [-]
SIJEČANJ	31	-0,8	4,46	0,909	5,995	0,481	0,116	0,105	0,804	0,190
VELJAČA	28	1,9	7,6	0,821	5,707	0,819	0,378	0,310	0,510	0,365
OŽUJAK	31	5,9	12,85	0,909	5,280	1,385	0,720	0,654	0,255	0,410
TRAVANJ	30	10,6	16,67	0,879	4,778	1,797	0,913	0,803	0,076	0,401
SVIBANJ	31	15,3	19,51	0,909	4,277	2,104	1,035	0,941	-0,032	0,389
LIPANJ	30	18,5	20,56	0,879	3,936	2,217	1,083	0,953	-0,073	0,386
SRPANJ	31	20,1	21,96	0,909	3,765	2,368	1,129	1,026	-0,117	0,377
KOLOVOZ	31	19,3	19,04	0,909	3,850	2,053	1,042	0,947	-0,038	0,401
RUJAN	30	15,8	16,31	0,879	4,224	1,758	0,926	0,815	0,065	0,416
LISTOPAD	31	10,5	10,33	0,909	4,789	1,114	0,602	0,547	0,362	0,427
STUDENI	30	5,3	5,29	0,879	5,344	0,570	0,215	0,189	0,690	0,298
PROSINAC	31	0,9	3,28	0,909	5,813	0,354	0,012	0,011	0,898	0,027
Godina		10,3	157,86	10,698			0,682	7,300	3,398	0,380



**Slika 13. Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode u Zagrebu**

**Tablica 8. Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom *f*-Chart za područje grada Splita**

Lokacija – Split		br. os.	4	$\vartheta_v, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=43,31^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{nv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=16,26^\circ$		t.v.,l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N [-]	$\vartheta_z$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$H_\beta$ [MJ/m <sup>2</sup> d]	$Q_{ptv}$ [GJ]	X [-]	Y [-]	F [-]	$Q_k$ [GJ]	$Q_d$ [GJ]	$\eta$ [-]
SIJEČANJ	31	7,6	8,68	0,909	5,099	0,936	0,481	0,437	0,471	0,406
VELJAČA	28	8,2	12,35	0,821	5,034	1,332	0,705	0,578	0,242	0,418
OŽUJAK	31	10,5	15,62	0,909	4,789	1,684	0,871	0,791	0,117	0,408
TRAVANJ	30	13,9	18,5	0,879	4,426	1,995	0,996	0,876	0,004	0,394
SVIBANJ	31	18,7	21,42	0,909	3,914	2,309	1,108	1,006	-0,098	0,379
LIPANJ	30	22,5	23,8	0,879	3,509	2,566	1,185	1,042	-0,162	0,365
SRPANJ	31	25,4	24,23	0,909	3,199	2,612	1,210	1,099	-0,191	0,366
KOLOVOZ	31	24,9	21,92	0,909	3,253	2,363	1,155	1,049	-0,141	0,386
RUJAN	30	21,4	18,68	0,879	3,626	2,014	1,042	0,916	-0,037	0,409
LISTOPAD	31	16,9	14,9	0,909	4,106	1,606	0,873	0,794	0,115	0,429
STUDENI	30	12,3	9,4	0,879	4,597	1,013	0,553	0,486	0,393	0,431
PROSINAC	31	8,9	7,49	0,909	4,960	0,808	0,404	0,367	0,541	0,396
Godina		15,9	196,99	10,698			0,883	9,443	1,255	0,394



**Slika 14. Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode u Splitu**

Iz tablice 7 i tablice 8 se može vidjeti da u ljetnim mjesecima imamo viška toplinske energije, tj. dodatna energija za zagrijavanje PTV-a u tom slučaju je negativna. U tom slučaju, pri projektiranju sustava potrebno je ugraditi i automatske rolete za pokrijevanje solarnih kolektora kako nebi došlo do pregrijavanja sustava. Iz ovakvih podataka se također može zaključiti koliki je zapravo veliki potencijal sunčeve energije da u ljetnim mjesecima imamo čak i viška energije.

Ovakav primjer proračuna primijenio se i za ostale županije te su njihovi dobiveni rezultati prikazani u tablici 9.

**Tablica 9. Ukupna proizvedena toplinska energija za PTV u obiteljskim kućama po županijama**

R.br.	Županija	Toplinska energija dobivena za zagrijavanje PTV-a u obiteljskoj kući godišnje [GJ]	Ukupna toplinska energija dobivena za zagrijavanje PTV-a/županiji godišnje [TJ]
1	Zagrebačka županija	7,30	242,17
2	Krapinsko-zagorska županija	7,26	99,39
3	Sisačko-moslavačka županija	7,24	131,59
4	Karlovačka županija	7,25	98,72
5	Varaždinska županija	7,26	132,90
6	Koprivničko-križevačka županija	7,23	86,79
7	Bjelovarsko-bilogorska županija	7,41	92,73
8	Primorsko-goranska županija	8,16	288,68
9	Ličko-senjska županija	7,22	44,04
10	Virovitičko-podravska županija	7,41	65,48
11	Požeško-slavonska županija	7,48	62,49
12	Brodsko-posavska županija	7,55	127,73
13	Zadarska županija	9,01	185,38
14	Osječko-baranjska županija	7,48	242,16
15	Šibensko-kninska županija	9,41	124,18
16	Vukovarsko-srijemska županija	7,43	143,45
17	Splitsko-dalmatinska županija	9,44	511,21
18	Istarska županija	8,58	210,74
19	Dubrovačko-neretvanska županija	9,38	135,37
20	Međimurska županija	7,23	86,95
21	Grad Zagreb	7,30	613,57
-	Republika Hrvatska	Prosijek: 7,81	Ukupno: 3 725,71

Iz tablice 9 se može vidjeti da se najviše toplinske energije dobije u Splitsko-dalmatinskoj županiji (9,44 GJ/kućanstvu) dok se najmanje dobije u ličko-senjskoj županiji (7,22 GJ/kućanstvu). Iz ovih podataka se može vidjeti da se u primorskim krajevima uz iste instalirane kapacitete može prikupiti i do 30 % više toplinske energije.

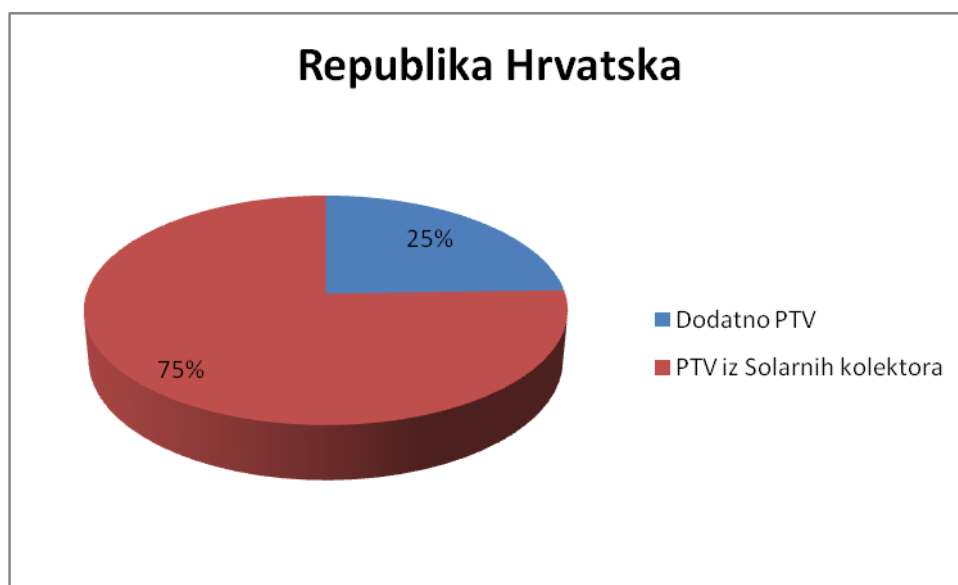
**Tablica 10. Zadovoljenost potreba obiteljskih kuća za PTV-om po županijama**

R.br.	Županija	Ukupna toplinska energija dobivena za zagrijavanje PTV-a/županiji godišnje [TJ]	Potreba za PTV-om/županiji [TJ]	Zadovoljeno PTV [%]
1	Zagrebačka županija	242,17	354,89	68,24
2	Krapinsko-zagorska županija	99,39	146,42	67,88
3	Sisačko-moslavačka županija	131,59	194,34	67,71
4	Karlovačka županija	98,72	145,58	67,81
5	Varaždinska županija	132,90	195,78	67,88
6	Koprivničko-križevačka županija	86,79	128,33	67,63
7	Bjelovarsko-bilogorska županija	92,73	133,89	69,26
8	Primorsko-goranska županija	288,68	378,32	76,31
9	Ličko-senjska županija	44,04	65,26	67,49
10	Virovitičko-podravska županija	65,48	94,55	69,26
11	Požeško-slavonska županija	62,49	89,39	69,90
12	Brodsko-posavska županija	127,73	180,93	70,59
13	Zadarska županija	185,38	220,20	84,19
14	Osječko-baranjska županija	242,16	346,43	69,90
15	Šibensko-kninska županija	124,18	141,24	87,92
16	Vukovarsko-srijemska županija	143,45	206,62	69,43
17	Splitsko-dalmatinska županija	511,21	579,16	88,27
18	Istarska županija	210,74	262,86	80,17
19	Dubrovačko-neretvanska županija	135,37	154,34	87,71
20	Međimurska županija	86,95	128,57	67,63
21	Grad Zagreb	613,57	899,17	68,24
-	Republika Hrvatska	Ukupno: 3 725,71	5 046,24	Prosijek: 73,83



Iz tablice 10. se također može viditi da je najviše zadovoljena potreba za PTV-om u Splitsko-dalmatinskoj županiji (88,27%) dok je najmanje zadovoljena u Ličko-senjskoj županiji (67,49%).

Kada bi se na svaku obiteljsku kuću u Republici Hrvatskoj postavila 4 m<sup>2</sup> solarnih toplinskih kolektora i jedan spremnik topline od 300 L na godišnjoj razini bi se dobilo 3 725,71 TJ što bi zadovoljilo 73,83% potreba za PTV-om u obiteljskim kućama Republike Hrvatske.



**Slika 15. Zadovoljenost PTV-a kod obiteljskih kuća u RH**

Potrebna toplinska energija za pripremu PTV-a kod višestambenih zgrada se dobila na način da smo od ukupne potrebe za PTV-om dane u tablici 3 oduzeli ukupnu potrebu za pripremu PTV-a obiteljskih kuća izračunate u tablici 10.

$$\text{PTV (višestambene zgrade)} = \text{PTV (ukupno)} - \text{PTV (obiteljske kuće)}$$

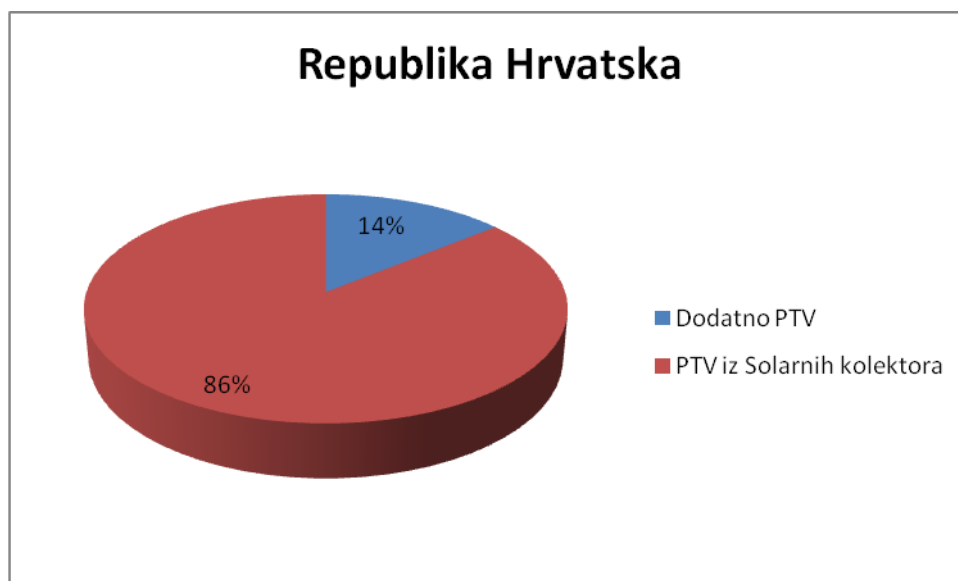
Za pripremu PTV-a kod višestambenih zgrada može se primijeniti Danski CTS sustav sličan onome u gradu Aalborg koji na godišnjoj razini proizvede oko 6 800 TJ toplinske energije koja se u konačnici koristi za zagrijavanje PTV-a. [26]

**Tablica 11. Ukupna potrebna energija za pripremu PTV-a u obiteljskim kućama i višestambenim zgradama**

R.br.	Županija	Ukupna potreba za PTV-om (obiteljske kuće + višestambene zgrade)/županiji [TJ]	Potreba za PTV-om (obiteljske kuće)/županiji [TJ]	Potreba za PTV-om (višestambene zgrade)/županiji [TJ]
1	Zagrebačka županija	835	354,89	480,11
2	Krapinsko-zagorska županija	472	146,42	325,58
3	Sisačko-moslavačka županija	430	194,34	235,66
4	Karlovačka županija	284	145,58	138,42
5	Varaždinska županija	615	195,78	419,22
6	Koprivničko-križevačka županija	325	128,33	196,67
7	Bjelovarsko-bilogorska županija	300	133,89	166,11
8	Primorsko-goranska županija	685	378,32	306,68
9	Ličko-senjska županija	67	65,26	1,74
10	Virovitičko-podravska županija	194	94,55	99,45
11	Požeško-slavonska županija	199	89,39	109,61
12	Brodsko-posavska županija	320	180,93	139,07
13	Zadarska županija	248	220,20	27,80
14	Osječko-baranjska županija	765	346,43	418,57
15	Šibensko-kninska županija	282	141,24	140,76
16	Vukovarsko-srijemska županija	366	206,62	159,38
17	Splitsko-dalmatinska županija	754	579,16	174,84
18	Istarska županija	449	262,86	186,14
19	Dubrovačko-neretvanska županija	173	154,34	18,66
20	Međimurska županija	335	128,57	206,43
21	Grad Zagreb	2670	899,17	1770,83
-	<b>Republika Hrvatska</b>	10768	5046,24	5721,76

Kada bi se u Republici Hrvatskoj instalirao 1 m<sup>2</sup> kolektora po glavi stanovnika Republika Hrvatska bi tada imala kapacitet kolektora ukupne površine 4 284 889 m<sup>2</sup>. Uzimajući u obzir da se prosiječno iz 1 m<sup>2</sup> može dobiti 600 kWh toplinske energije dolazimo do podatka da se sa tim instaliranim kapacitetom može godišnje prikupiti 2,57 TWh odnosno 9 252 TJ toplinske energije.

Iz tog podatka se može zaključiti da kada bi Republika Hrvatska instalirala 1 m<sup>2</sup> kolektora po glavi stanovnika zadovoljila bi svoje potrebe za PTV-om u visini od 85,9%.



**Slika 16.** Ukupna zadovoljenost pripreme PTV-a u slučaju instalacije 1 m<sup>2</sup> kolektora po glavi stanovnika

### **3.2. Električna energija dobivena iz fotonaponskih sustava**

#### **3.2.1. Polazni podaci i proračunski rezultati fotonaponskog sustava**

Fotonaponski moduli, površine oko 40 m<sup>2</sup>, ukupno instalirane snage 5 kWp u prosjeku po obiteljskoj kući, postavljeni su na krov građevine pod kutom 30° i azimutom ±30°. U ovom diplomskom radu je zadano da se proračuna doprinos električne energije kada bi se instalirao 1 kW po glavi stanovnika. No, kada bi se to išlo izvoditi u praksi to bi bilo tehnički ne izvedivo, pa se vršio proračun pri instalaciji od 5 kW po obiteljskoj kući, što je tehnički minimum da bi se jedan takav sustav mogao izvesti, odnosno 1,25 kW po glavi stanovnika. U konačnici je u analizi rezultata i ukupnoj proizvedenoj električnoj energiji na bazi cijele RH dao slučaj kada bi se instalirao 1 kW po glavi stanovnika uz objašnjenje da se onda na svaku 5 kuću ne treba instalirati jedan takav sustav da bi u konačnici rezultat bio jednak onome kada bi se instalirao 1 kW po glavi stanovnika. Stupanj djelovanja modula je  $\eta_m=0,16$ .

#### **3.2.2. Proračunski rezultati**

Kao što je već navedeno u poglavlju 2 za proračun dobivene električne energije iz fotonaponskih sustava koristiti će se PVGIS program te će se prikazati 2 primjera sustava, jedan u Gradu Zagrebu, a drugi u gradu Splitu, slično kao i u proračunu za pripremu PTV-a.

Fixed system: inclination=30°, orientation=30°				
Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	5.90	183	1.50	46.4
Feb	10.30	289	2.60	72.9
Mar	15.20	471	4.00	124
Apr	18.80	565	5.07	152
May	21.00	652	5.77	179
Jun	21.90	656	6.10	183
Jul	22.30	692	6.29	195
Aug	20.80	644	5.88	182
Sep	16.30	490	4.47	134
Oct	12.10	375	3.20	99.2
Nov	6.67	200	1.70	50.9
Dec	4.78	148	1.19	37.0
Yearly average	14.7	447	3.99	121
Total for year		5370		1460

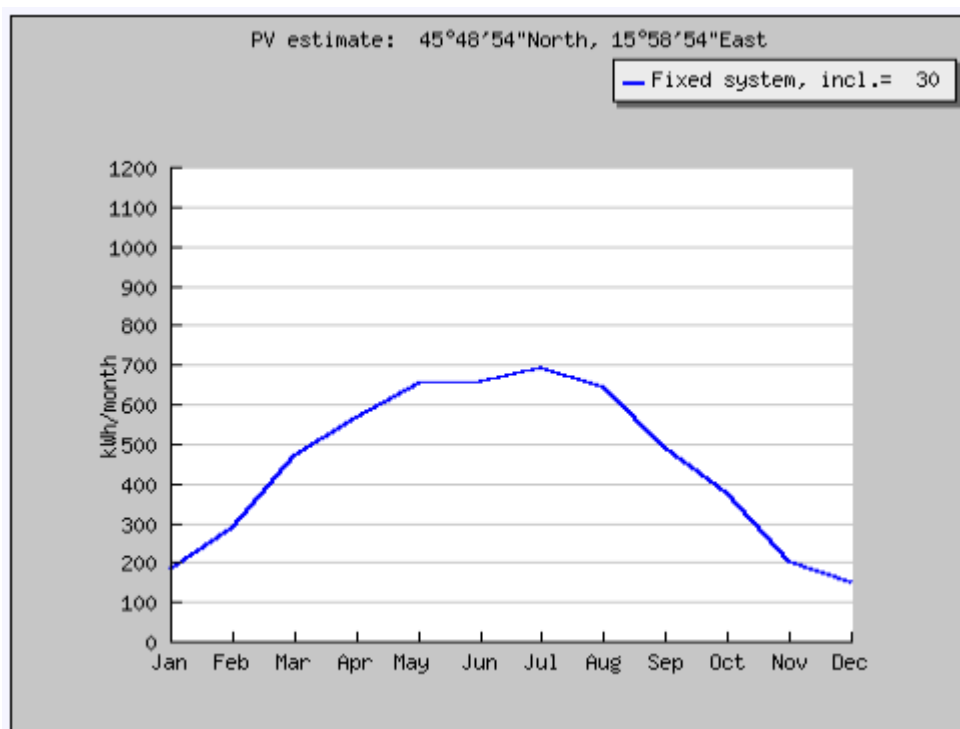
$E_d$  - Prosječna dnevna proizvodnja električne energije iz određenog sustava (kWh)

$E_m$  - Prosječna mjesečna proizvodnja električne energije iz određenog sustava (kWh)

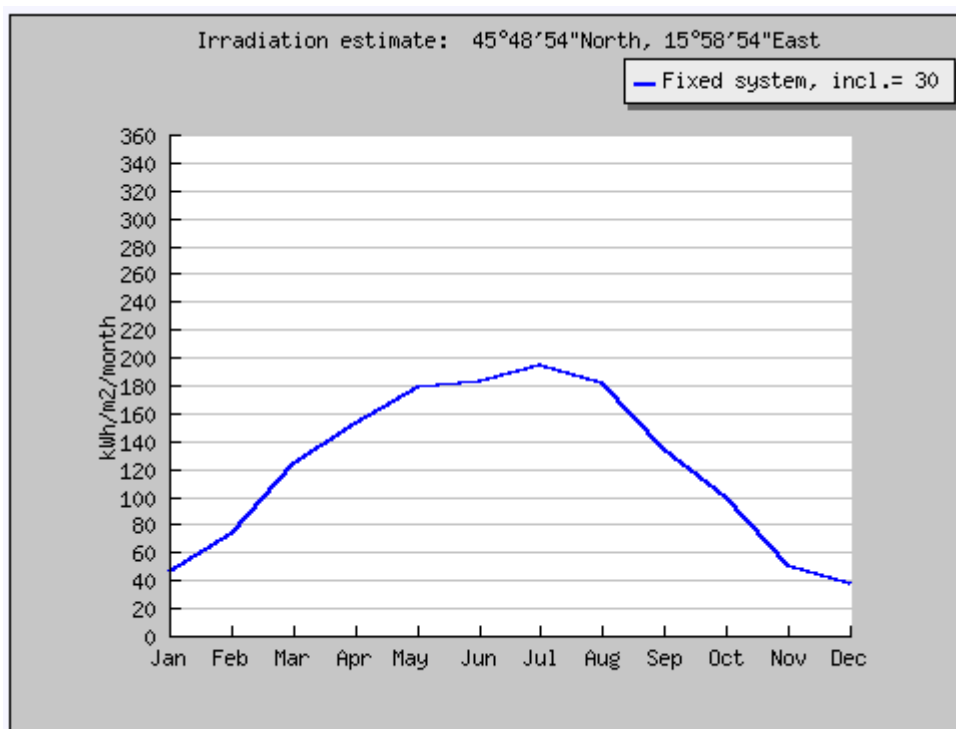
$H_d$  - Prosječna dnevna suma globalnog ozračenja po četvornom metru modula danog sustava (kWh/m<sup>2</sup>)

$H_m$  - Prosječna suma globalnog ozračenja po četvornom metru modula danog sustava (kWh/m<sup>2</sup>)

Slika 17. Električna energija dobivena iz fotonaponskog sustava ukupne snage 5 kWp instaliranog na obiteljskoj kući u Gradu Zagrebu



Slika 18. Mjesečna proizvodnja električne energije iz fotonaponskog sustava ukupne snage 5 kWp instaliranog na obiteljskoj kući u Gradu Zagrebu



Slika 19. Mjesečna proizvodnja električne energije po  $\text{m}^2$  fotonaponskog sustava ukupne snage 5 kWp instaliranog na obiteljskoj kući u Gradu Zagrebu

Fixed system: inclination=30°, orientation=30°				
Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	9.80	304	2.51	77.9
Feb	13.60	380	3.51	98.3
Mar	18.50	574	4.91	152
Apr	20.90	627	5.64	169
May	23.20	719	6.36	197
Jun	24.50	734	6.88	206
Jul	25.90	802	7.37	228
Aug	24.10	746	6.86	213
Sep	20.00	600	5.57	167
Oct	15.60	484	4.22	131
Nov	9.83	295	2.58	77.5
Dec	8.64	268	2.22	68.8
Yearly average	17.9	544	4.89	149
Total for year		6530		1790

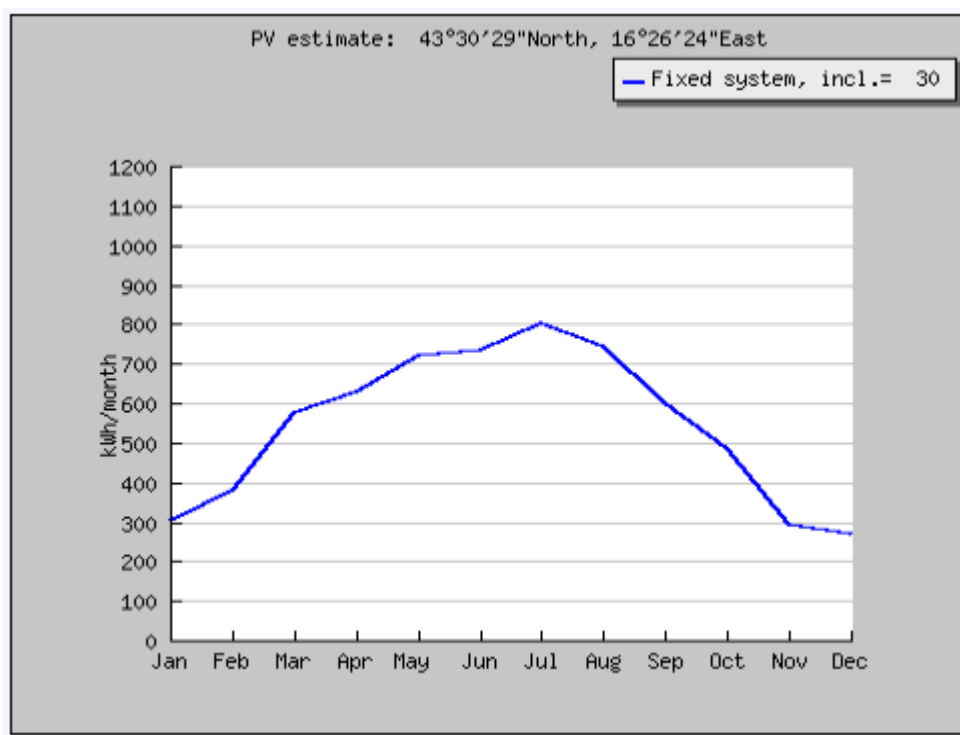
$E_d$  - Prosječna dnevna proizvodnja električne energije iz određenog sustava (kWh)

$E_m$  - Prosječna mjesečna proizvodnja električne energije iz određenog sustava (kWh)

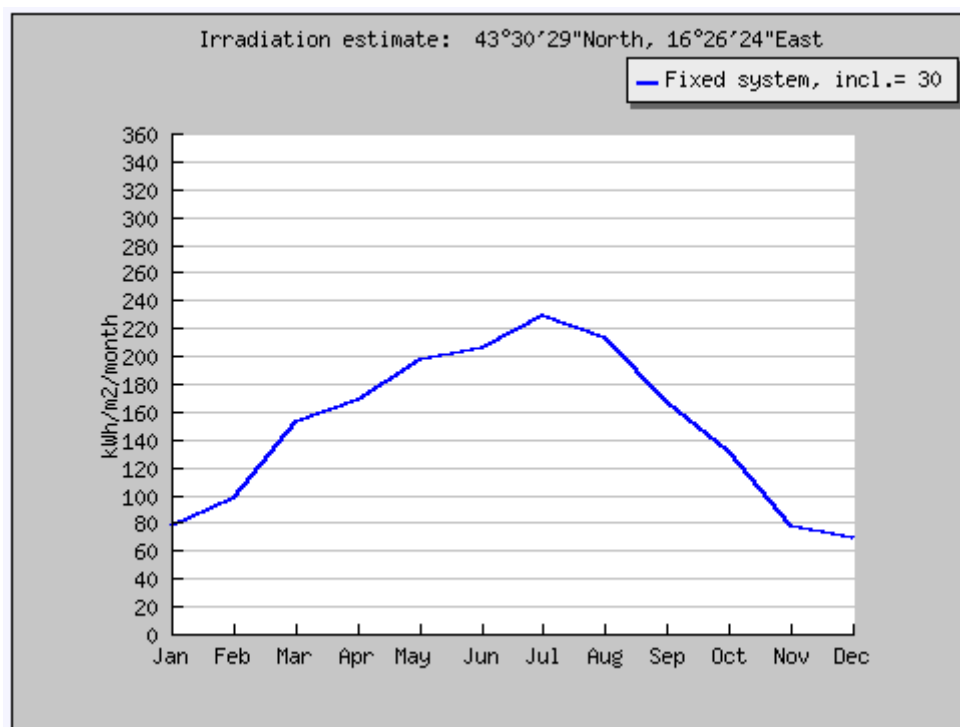
$H_d$  - Prosječna dnevna suma globalnog ozračenja po četvornom metru modula danog sustava ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ )

$H_m$  - Prosječna suma globalnog ozračenja po četvornom metru modula danog sustava ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ )

Slika 20. Električna energija dobivena iz fotonaponskog sustava ukupne snage 5 kWp instaliranog na obiteljskoj kući u Gradu Splitu



Slika 21. Mjesečna proizvodnja električne energije iz fotonaponskog sustava ukupne snage 5 kWp instaliranog na obiteljskoj kući u Gradu Splitu



Slika 22. Mjesečna proizvodnja električne energije po m<sup>2</sup> fotonaponskog sustava ukupne snage 5 kWp instaliranog na obiteljskoj kući u Gradu Zagrebu

**Tablica 12. Ukupna dobivena električna energija iz sustava instaliranih na obiteljskim kućama po pojedinim županijama**

R.br.	Županija	Električna energija dobivena iz 5 kW FN-a/obiteljskoj kući godišnje [kWh]	Ukupna električna energija dobivena iz 5 kW FN-a/županiji godišnje [GWh]
1	Zagrebačka županija	5 370	178,14
2	Krapinsko-zagorska županija	5 360	73,36
3	Sisačko-moslavačka županija	5 530	100,46
4	Karlovačka županija	5 430	73,89
5	Varaždinska županija	5 470	100,11
6	Koprivničko-križevačka županija	5 490	65,86
7	Bjelovarsko-bilogorska županija	5 380	67,34
8	Primorsko-goranska županija	5 770	204,05
9	Ličko-senjska županija	5 540	33,79
10	Virovitičko-podravska županija	5 510	48,70
11	Požeško-slavonska županija	5 470	45,71
12	Brodsko-posavska županija	5 490	92,85
13	Zadarska županija	6 700	137,91
14	Osječko-baranjska županija	5 540	179,40
15	Šibensko-kninska županija	6 850	90,44
16	Vukovarsko-srijemska županija	5 610	108,35
17	Splitsko-dalmatinska županija	6 530	353,52
18	Istarska županija	6 470	158,97
19	Dubrovačko-neretvanska županija	6 830	98,54
20	Međimurska županija	5 470	65,74
21	Grad Zagreb	5 370	451,36
-	<b>Republika Hrvatska</b>	121 180	2 728,49

Iz tablice 12 se može vidjeti da se najviše električne energije iz fotonaponskih sustava dobije u Šibensko-kninskoj županiji, gotovo 6 850 kWh po sustavu. Najmanje se dobije u Krapinsko-zagorskoj županiji, 5 360 kWh što je za 21.75% manje od istog sustava instaliranog u Šibensko-kninskoj županiji. Upravo iz ovih razloga se najviše potiče Solarizacija Republike Hrvatske u priobalnom području.

Kada bi se na svakoj obiteljskoj kući instalirao fotonaponski sustav snage 5 kWp, godišnja proizvodnja električne energije na razini Republike Hrvatske iznosila bi 2,728 TWh.

Kada bi se u Republici Hrvatskoj instalirao 1 kW fotonaponskih modula po glavi stanovnika ukupni instalirani kapacitet bi tada iznosi 4 284 889 kW. U kontinentalnoj Hrvatskoj prema broju stanovnika iz tablice 1, te podjeli Hrvatske na kontinentalnu Hrvatsku (žuto) i Jadransku Hrvatsku (plavo) prema slici 23, može se zaključiti da bi u kontinentalnom dijelu Hrvatske bilo instalirano 2 872 954 kW dok bi u Jadranskom dijelu Hrvatske ukupni kapacitet iznosio 1 411 935 kW.



**Slika 23. Podjela na kontinentalnu i Jadransku Hrvatsku**

Prema proračunu se prosiječno iz 1 kW fotonapona u kontinentalnoj Hrvatskoj može dobiti oko 1 100 kWh električne energije dok u Jadranskoj Hrvatskoj 1 280 kWh. Iz ovih podataka se može izračunati da kada bi se u Republici Hrvatskoj instalirao 1 kW FN modula po glavi stanovnika ukupna godišnja proizvodnja električne energije bi iznosila 4,96 TWh. U kontinentalnoj Hrvatskoj bi se proizvodilo 3,16 TWh, odnosno 64%, a u Jadranskoj 1,8 TWh, odnosno 36% od ukupne proizvodnje iz FN-sustava.



## 4. EnergyPLAN

Softver EnergyPLAN funkcionira na satnoj razini za jednu godinu odnosno simulira 8784 sata potrošnje energije nekog energetskog sustava i prikazuje da li je sustav održiv sa unesenim parametrima. U ovom radu će se analizirati 5 odvojenih scenarija. Prvi scenarij predstavljat će referentnu godinu, drugi scenarij će predstavljati scenarij prijelazne tranzicije NU1 do 2030. godine, treći scenarij će predstavljati scenarij snažne tranzicije NU2 do 2030. godine, četvrti scenarij predstavljati će scenarij Solarizacije Republike Hrvatske do 2030. godine SOL1, dok će peti scenarij predstavljati scenarij Solarizacije Republike Hrvatske do 2030. godine SOL2. Za EnergyPLAN potrebno je podatke unositi na određeni način, treba paziti na mjerne jedinice i pronađene podatke treba uvijek par puta provjeriti kako bi se dobili što točniji rezultati. Za rad u EnergyPLAN – u potrebno je poznavati stanje potrošnje električne energije, energije za grijanje i hlađenje, energije koja se koristi u industriji i energije koja se troši za transport. Osim modeliranja potrošnje, program istovremeno zahtijeva i unos proizvodnje energije, električne i toplinske.

### 4.1. Referentni scenarij [27]

Potrošnja u referentnoj 2012. godini prema EnergyPLAN-u se dijeli na:

- potrošnju električne energije,
- potrošnju toplinske energije,
- potrošnju energije za hlađenje,
- potrošnju energije u industriji,
- potrošnju energije u transportu

Ukupna potrošnja električne energije u referentnoj 2012. godini iznosila je 18,81 TWh. Prema EnergyPLAN-u, u ukupnu potrošnju električne energije uračunata je i potrošnja električne energije za hlađenje koja iznosi 0,734 TWh dok u 2012. godini nije bilo registriranih električnih vozila.

Potrošnja toplinske energije se u EnergyPLAN-u dijeli na individualnu potrošnju toplinske energije i potrošnju toplinske energije centraliziranih toplinskih sustava. U 2012. godini, prema EnergyPLAN-u, individualna potrošnja toplinske energije iznosila je 17,34 TWh, dok je potrošnja toplinske energije centraliziranih toplinskih sustava iznosila 2,57 TWh.

Potrošnja energije u industriji odnosno potrošnja goriva u industriji, bez električne i toplinske energije, prema referentnoj 2012. godini iznosila je 9,58 TWh. Najviše se trošilo prirodnog plina, točnije 4,53 TWh, zatim naftnih derivata, 2,94 TWh, ugljena, 1,43 TWh i nešto malo biomase, 0,69 TWh. Ukuona potrošnja energije u sektoru transporta iznosila je 21,05 TWh.

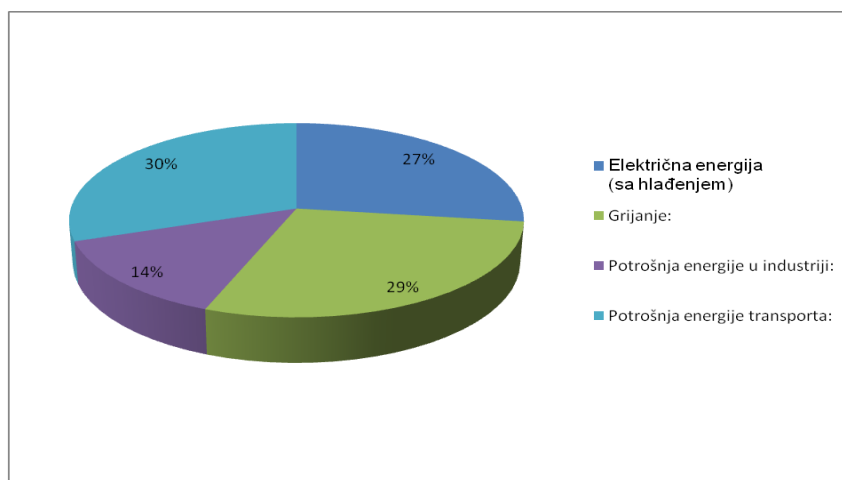
Ukupna potrošnja energije u Hrvatskoj u referentnoj 2012. godini prema EnergyPLAN-u prikazana je u tablici 13.

**Tablica 13. Ukupna potrošnja energije u Hrvatskoj prema referentnoj 2012. godini [27]**

Električna energija (sa hlađenjem )	18,81	TWh
Grijanje:	19,92	TWh
Potrošnja energije u industriji:	9,58	TWh
Potrošnja energije transporta:	21,05	TWh
Ukupno:	69,36	TWh

Republika Hrvatska ne zadovoljava sve svoje potrebe za energijom iz vlastitih izvora unutar svojih granica, pa na godišnjoj razini uveze dodatnih 6,73 TWh električne energije. Prema EnergyPLAN-u , sektor grijanja je podijeljen na dva dijela, na individualno grijanje i grijanje pomoću CTS-a. Energija individualnog grijanja predstavlja onu energiju koja se dobije nakon prerade sirovine (npr. ugljena...) i ona bi trebala odgovarati korisnoj energiji za grijanje prostora i pripremu PTV-a u sektoru zgradarstva.

Iz priložene tablice vidljivo je da se najviše energije troši u sektoru transporta, a najmanje energije se troši u industriji. Odnos u postocima može se vidjeti na sljedećoj slici:



**Slika 24. Raspodjela ukupne potrošnje energije u referentnoj 2012. godini prema EnergyPLAN-u**

S druge strane, ako se promatra opskrba energijom u 2012. godini, ta opskrba se prema EnergyPLAN-u dijeli u 3 skupine:

- opskrba toplinske i električne energije iz kotlova, CHP-a...
- opskrba samo električne energije iz vjetroelektrana, PV-a...
- opskrba samo toplinske energije iz solarnih toplinskih sustava...

Opskrba toplinske i električne energije prema EnergyPLAN-u postiže se kotlovima i sa CHP postrojenjima. Ukupni toplinski kapacitet kotlova (boilers) u 2012. godini prema EnergyPLAN-u iznosio je 1 488 MW dok je ukupni električni kapacitet CHP postrojenja iznosio 948 MW.

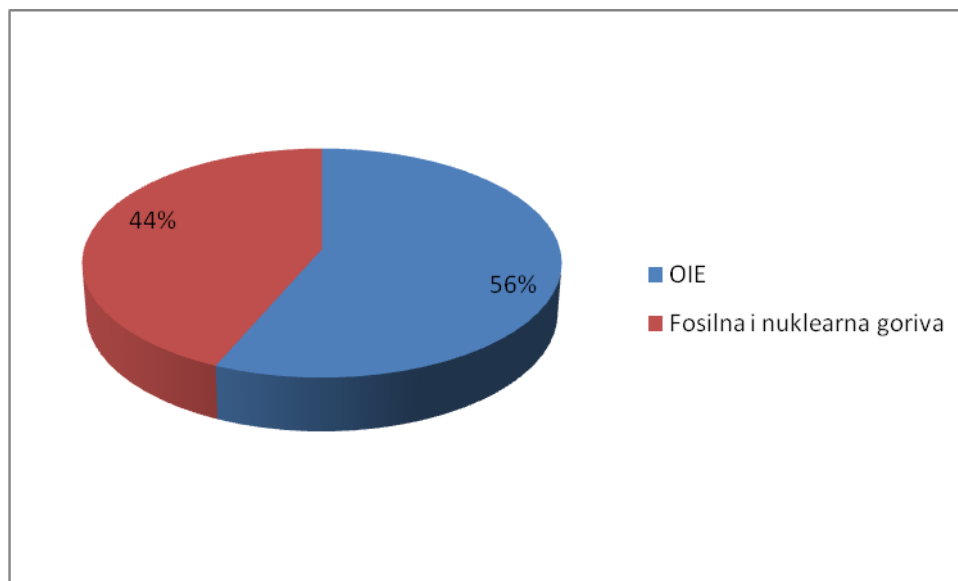
Opskrba samo električne energije u Hrvatskoj, u referentnoj 2012. godini, prema EnergyPLAN-u sastojala se od:

- opskrbe električne energije iz nuklearnih elektrana snage 348 MW
- opskrbe električne energije iz hidroelektrana snage 2 200 MW
- opskrba električne energije iz vjetroelektrana snage 180 MW
- opskrba električne energije iz fotonaponskih modula snage 4 MW

Prema EnergyPLAN-u, Republika Hrvatska na godišnjoj razini uveze dodatnih 6,73 TWh električne energije vodovima kapaciteta 13 487 MW.

Na sljedećoj slici može se vidjeti koliki postotak instaliranih kapaciteta za opskrbu električne energije spada pod obnovljive izvore energije, a koliki postotak spada pod fosilna goriva i nuklearna goriva. Ovdje je uzeto u obzir da sve hidroelektrane (velike i male) spadaju pod obnovljive izvore energije. Prema EU legislativi smije se poticati gradnja hidroelektrana do 10 MW, a cjelokupna proizvodnja hidroelektrana se tretira kao proizvodnja iz OIE.

Navedeni podaci kao i sam scenarij preuzet je iz dostupnih datoteka programa EnergyPLAN na FSB-a.



**Slika 25. Udio OIE u ukupnim instaliranim kapacitetima za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj prema referentnoj 2012. godini**

#### **4.2. Prijelazni NU1 scenarij niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine**

Potrošnja energije u prijelaznom scenariju u 2030. godini, prema EnergyPLAN-u, također se može podijeliti jednako onako kao i prema referentnoj 2012. godini.

Prema EnergyPLAN-u, ukupna potrošnja električne energije kao i potrebna energija za hlađenje u 2030. godini u NU1 scenariju ostala je nepromijenjena u odnosu na referentnu godinu, dok se za punjenje električnih vozila troši 0,17 TWh električne energije.

U 2030. godini, u NU1 scenariju, individualna potrošnja toplinske energije prema EnergyPLAN-u nešto je niža i iznosi 17,18 TWh, dok je potrošnja toplinske energije centraliziranih toplinskih sustava nešto viša i iznosi 2,62 TWh.

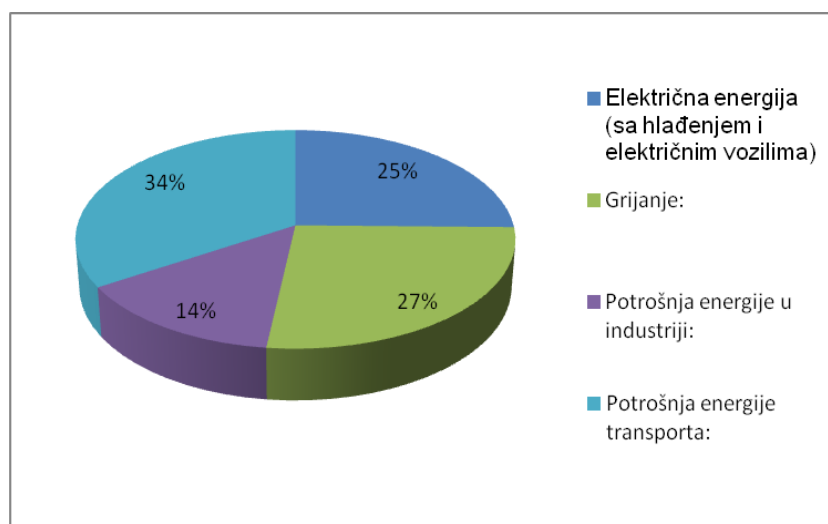
Povisila se i potrošnja energije u industriji i transportu. Potrošnja energije u industriji prema EnergyPLAN-u iznosi 10,5 TWh, dok u transportu 25,34 TWh.

Ukupna potrošnja energije u Hrvatskoj u NU1 scenariju za 2030. godinu, prema EnergyPLAN-u, prikazana je u tablici 14.

**Tablica 14. Ukupna potrošnja energije u Hrvatskoj u NU1 scenariju za 2030. godinu prema EnergyPLAN-u**

Električna energija (sa hlađenjem i električnim vozilima)	18,81	TWh
Grijanje:	19,8	TWh
Potrošnja energije u industriji:	10,5	TWh
Potrošnja energije transporta:	25,34	TWh
Ukupno:	74,45	TWh

Iz priložene tablice vidljivo je da se najviše energije također troši u sektoru transporta, a najmanje energije se troši u industriji. Odnos u postocima može se vidjeti na sljedećoj slici:



**Slika 26. Raspodjela ukupne potrošnje energije u 2030. godini prema NU1 scenariju**

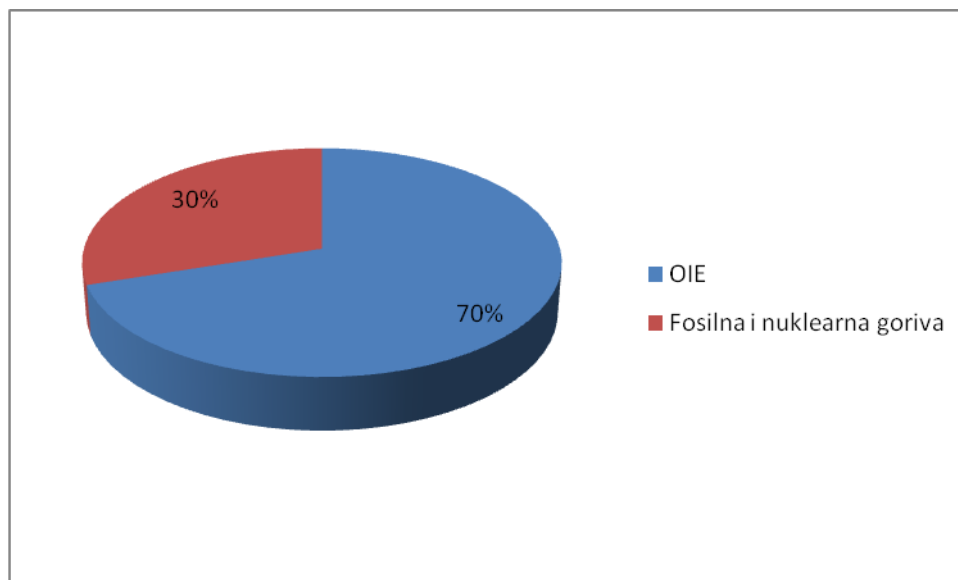
Opskrba energijom prema NU1 scenariju u 2030. godini prema EnergyPLAN-u također se može podijeliti jednako onako kao i u referentnoj godini.

Prema EnergyPLAN-u, instalirani kapaciteti za opskrbu toplinske energije ostali su ne promijenjeni u odnosu na referentu 2012. godinu i iznose 1 488 MW dok je ukupni električni kapacitet CHP postrojenja porasao i iznosi 1 435 MW.

Prema EnergyPLAN-u, opskrba samo električne energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema NU1 scenariju sastoji se od:

- opskrbe električne energije iz nuklearnih elektrana snage 348 MW
- opskrbe električne energije iz hidroelektrana snage 2 200 MW
- opskrba električne energije iz vjetroelektrana snage 1 600 MW
- opskrba električne energije iz fotonaponskih modula snage 700 MW

Na sljedećoj slici može se vidjeti koliki postotak instaliranih kapaciteta spada pod obnovljive izvore energije, a koliki postotak spada pod fosilna goriva i nuklearna goriva.



**Slika 27. Udio OIE u ukupnim instaliranim kapacitetima za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema NU1 scenariju iz EnergyPLAN-a**

#### **4.3. Snažni NU2 scenarij niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine**

Potrošnja energije u snažnom scenariju u 2030. godini, prema EnergyPLAN-u, također se može podijeliti jednako onako kao i prema referentnoj 2012. godini.

Prema EnergyPLAN-u, ukupna potrošnja električne energije, u 2030. godini prema NU2 scenariju je viša od one u NU1 scenariju i one u referentnoj godini i iznosi 19,24 TWh. Prema EnergyPLAN-u, u ukupnu potrošnju električne energije uračunata je i potrošnja električne energije za hlađenje koja je porasla i iznosi 1,164 TWh i električna energija za punjenje električnih vozila koja je opet porasla u odnosu na NU1 scenarij, također, zbog sve više električnih vozila u prometu i iznosi 0,43 TWh.

Prema EnergyPLAN-u, u 2030. godini, prema NU2 scenariju, individualna potrošnja toplinske energije ostala je nepromijenjena u odnosu na NU1scenarij i iznosi 17,18 TWh, dok je potrošnja toplinske energije centraliziranih toplinskih sustava nešto viša i iznosi 2,82 TWh.

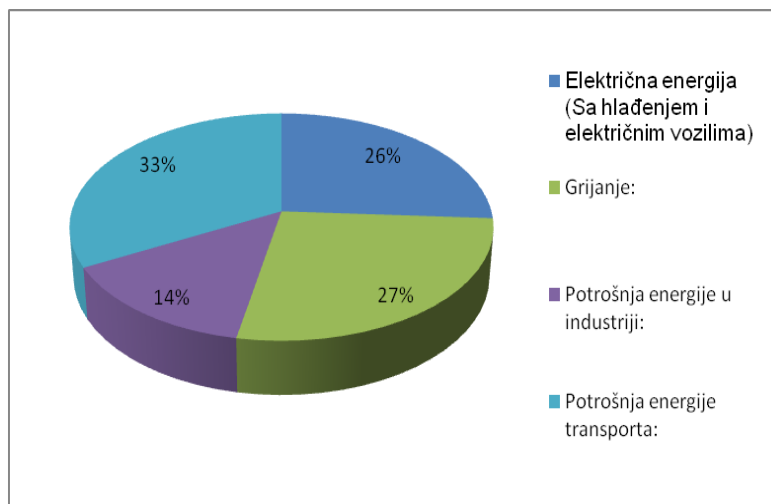
Prema EnergyPLAN-u, potrošnja energije u industriji odnosno potrošnja goriva u industriji u 2030. godini prema NU2 scenariju ostala je nepromijenjena i iznosi 10,5 TWh, dok je ukupna potrošnja energije u sektoru transporta nešto malo manja i iznosi 24,33 TWh.

Prema EnergyPLAN-u, ukupna potrošnja energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema NU2 scenariju prikazana je u tablici 15.

**Tablica 15. Ukupna potrošnja energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema NU2 scenariju, prema EnergyPLAN-u**

Električna energija (sa hlađenjem i električnim vozilima)	19,24	TWh
Grijanje:	20	TWh
Potrošnja energije u industriji:	10,5	TWh
Potrošnja energije transporta:	24,33	TWh
Ukupno:	74,07	TWh

Iz priložene tablice vidljivo je da se najviše energije troši također u sektoru transporta, a najmanje energije se troši u industriji. Odnos u postocima može se vidjeti na sljedećoj slici:



**Slika 28. Raspodjela ukupne potrošnje energije u 2030. godini prema NU2 scenariju**

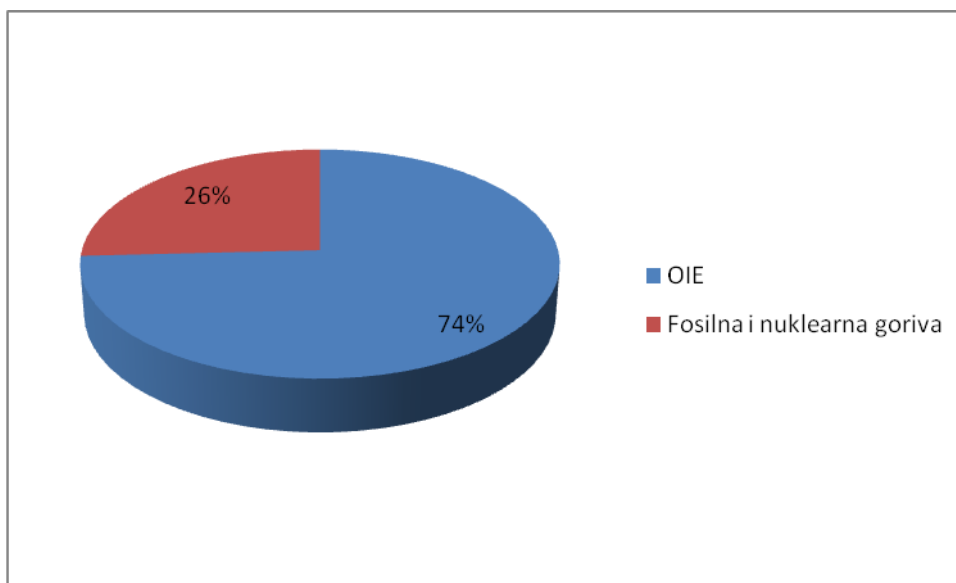
S druge strane, ako promatramo opskrbu energijom u 2030. godini prema NU2 scenariju, ta opskrba može se također podijeliti jednako onako kao u referentnoj godini.

Opskrba toplinske i električne energije ostala je također ne promijenjena u odnosu na NU1 scenarij i iznosi 1 488 MW dok je ukupni električni kapacitet CHP postrojenja također ostao nepromijenjen i iznosi 1 435 MW.

Prema EnergyPLAN-u , opskrba samo električne energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema NU2 scenariju sastoji se od:

- opskrbe električne energije iz nuklearnih elektrana snage 348 MW
- opskrbe električne energije iz hidroelektrana snage 2 200 MW
- opskrba električne energije iz vjetroelektrana snage 2 000 MW
- opskrba električne energije iz fotonaponskih modula snage 1 300 MW

Na sljedećoj slici može se vidjeti koliki postotak opskrbe električne energije spada pod obnovljive izvore energije, a koliki postotak spada pod fosilna goriva i nuklearna goriva.



**Slika 29. Udio OIE u ukupnim instaliranim kapacitetima za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema NU2 scenariju**



#### 4.4. Scenarij Solarizacije Republike Hrvatske do 2030. godine, „SOL1“

Scenarij Solarizacije Republike Hrvatske, u daljnjem tekstu „SOL1“, predstavlja scenarij u kojem je instalirano 1 m<sup>2</sup> pločastih solarnih kolektora po glavi stanovnika kao i 1 m<sup>2</sup> solarnih fotonaponskih modula po glavi stanovnika.

Scenarij Solarizacije Republike Hrvatske predstavlja izmijenjeni prijelazni scenarij NU1. Izmijene su u sektoru grijanja i u sektoru opskrbe električne energije iz fotonaponskih sustava.

U EnergyPLAN-u se potreba za grijanjem i pripremom PTV-a u ovom scenariju definirala na sljedeći način:

- U sektoru individualnog grijanja unijela se ukupna potrebna energija za grijanje i pripremu PTV-a obiteljskih kuća proračunata u poglavlju 2
- U sektoru centraliziranih toplinskih sustava unijela se potreba za grijanjem i pripremu PTV-a kod višestambenih zgrada koja se također dobila proračunom u poglavlju 2

U EnergyPLAN-u, prema scenariju „SOL1“, za 2030. godinu dobilo se da, potrošnja toplinske energije u obiteljskim kućama iznosi 13,55 TWh, dok potrošnja toplinske energije centraliziranih toplinskih sustava (višestambene zgrade) iznosi 7,84 TWh.

Kao što je i zadatkom definirano, tako se i u energyPLAN-u promatrao scenarij u kojem svaka obiteljska kuća ima instalirani sustav sa solarnim kolektorima za zagrijavanje PTV-a. U energyPLAN-u konkretno taj dio se definira u sektoru (*Share*) za kojeg se stavilo da iznosi 1, odnosno, udio je 100 %, tj. pretpostavljeno je da svaka kuća ima instaliran jedan takav sustav za pripremu PTV-a.

Proračunom se dobilo, da obiteljske kuće sa instaliranim navedenim kapacitetima godišnje prikupe 1,04 TWh energije za zarijavanje PTV-a. Taj se podatak rasporedio u EnergyPLAN-u u 5 grupa ovisno o udjelu goriva tako da njihova suma na kraju bude također 1,04 TWh. Ukupni kapacitet toplinske energije solarnih termalnih sustava kod obiteljskih kuća iznosi 5,78 GWh dok ona kod višestambenih zgrada iznosi 3,56 GWh.

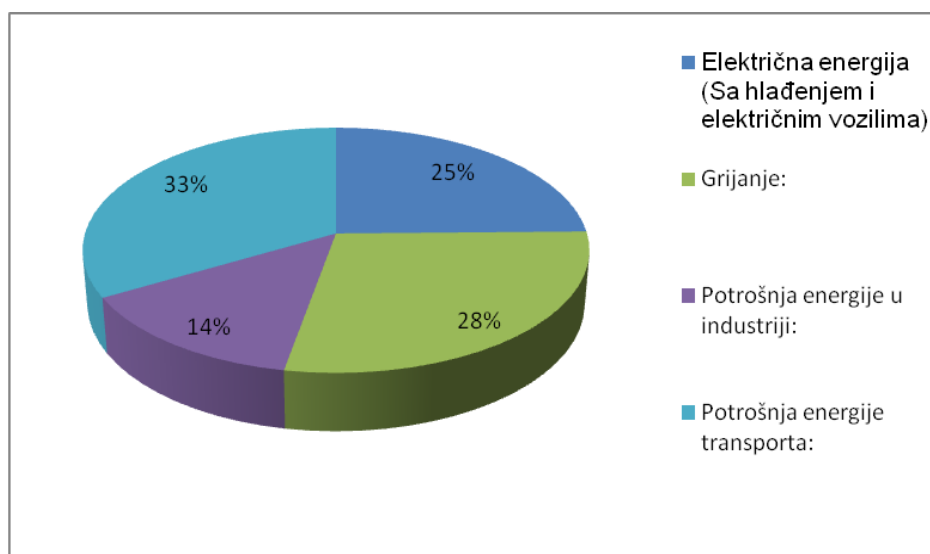
Prema EnergyPLAN-u, potrošnja energije u industriji odnosno potrošnja goriva, kao i potrošnja energije u transportu također odgovara onoj u NU1 scenariju.

Prema EnergyPLAN-u, ukupna potrošnja energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema scenariju "SOL1" prikazana je u tablici 16.

**Tablica 16. Ukupna potrošnja energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema scenariju SOL1 Republike Hrvatske**

Električna energija (Bez hlađenja i električnih vozila)	18,81	TWh
Grijanje:	21,4	TWh
Potrošnja energije u industriji:	10,5	TWh
Potrošnja energije transporta:	25,34	TWh
Ukupno:	76,05	TWh

Iz priložene tablice vidljivo je da se najviše energije troši također u sektoru transporta, a najmanje energije se troši u industriji. Odnos u postocima može se vidjeti na sljedećoj slici:



**Slika 30. Raspodjela ukupne potrošnje energije u 2030. godini prema scenariju SOL1 Republike Hrvatske**

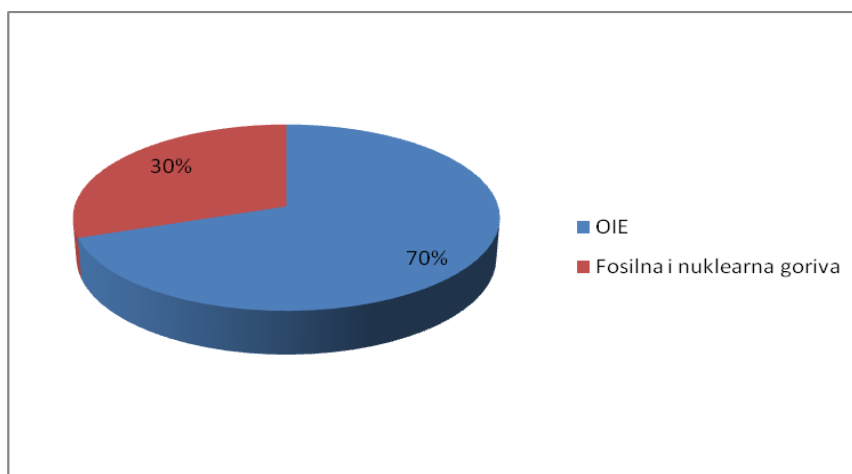
Prema EnergyPLAN-u, opskrba toplinske i električne energije iz kotlova i CHP postrojenja ostala je također ne promijenjena u odnosu na NU1 scenarij.

Prema EnergyPLAN-u, opskrba samo električne energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema scenariju „SOL1“ sastoji se od:

- opskrbe električne energije iz nuklearnih elektrana snage 348 MW
- opskrbe električne energije iz hidroelektrana snage 2 200 MW
- opskrba električne energije iz vjetroelektrana snage 1 544 MW
- opskrba električne energije iz fotonaponskih modula snage 686 MW

Ovdje se može vidjeti da je ukupni instalirani kapacitet fotonaponskih sustava 686 MW. Do tog podatka se došlo na sljedeći način. U zadatku je definirano da će se raditi scenarij kada bi se instalirao 1 m<sup>2</sup> fotonaponskih modula po glavi stanovnika u RH. Republika Hrvatska ima 4 284 889 stanovnika, odnosno u ovom scenariju ima 4 284 889 m<sup>2</sup> fotonaponskih modula. Zna se da 1 m<sup>2</sup> fotonapona otprilike iznosi oko 160 W. Tako se, jednostavnom računom došlo da u ovom slučaju u Republici Hrvatskoj ima instalirano 686 MW.

Na sljedećoj slici može se vidjeti koliki postotak opskrbe električne energije spada pod obnovljive izvore energije, a koliki postotak spada pod fosilna goriva i nuklearna goriva.



**Slika 31. Udio OIE u ukupnim instaliranim kapacitetima za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema SOL1 scenariju**

Također, iz tog podatka se može zaključiti da scenarij „SOL1“ prati prijelazni NU1 scenarij. Ukupni instalirani kapacitet fotonaponskih sustava u NU1 scenariju iznosi 700 MW, dok u scenariju „SOL1“ iznosi 686 MW. Razlika je u udjelu solarnih toplinskih kolektora u sektoru grijanja i pripreme PTV-a.

#### 4.5. Scenarij Solarizacije Republike Hrvatske do 2030. godine, „SOL2“

Drugi scenarij, Scenarij Solarizacije Republike Hrvatske, u daljnjem tekstu „SOL2“, predstavlja scenarij u kojem je instalirano 1 m<sup>2</sup> pločastih solarnih kolektora po glavi stanovnika kao i u „SOL1“ scenariju, dok je instalirano 1 kW solarnih fotonaponskih modula po glavi stanovnika kako je i u zadatku zadano.

Scenarij „SOL2“ predstavlja izmijenjeni snažni scenarij „NU2“. Izmijene su u sektoru grijanja i u sektoru opskrbe električne energije iz fotonaponskih sustava.

Prije samog početka rada u EnergyPLAN-u, potrebno je u programu namjestiti vrijednosti "Fixed Import/Export" kao i "Transmission line capacity" na nulu. To znači da se ovaj sustav promatrao kao zatvoreni, tj. pokušao se izmodelirati takav sustav u kojem RH neće imati potrebu za uvoz/izvoz energije, odnosno sve svoje potrebe zadovoljava unutar svojih granica.

Prema EnergyPLAN-u, potrošnja energije u industriji odnosno potrošnja goriva, kao i potrošnja energije u transportu također odgovara onoj u NU2 scenariju.

Opskrba toplinske i električne energije iz kotlova i CHP postrojenja ostala je, također, prema EnergyPLAN-u, ne promijenjena u odnosu na NU2 scenarij.

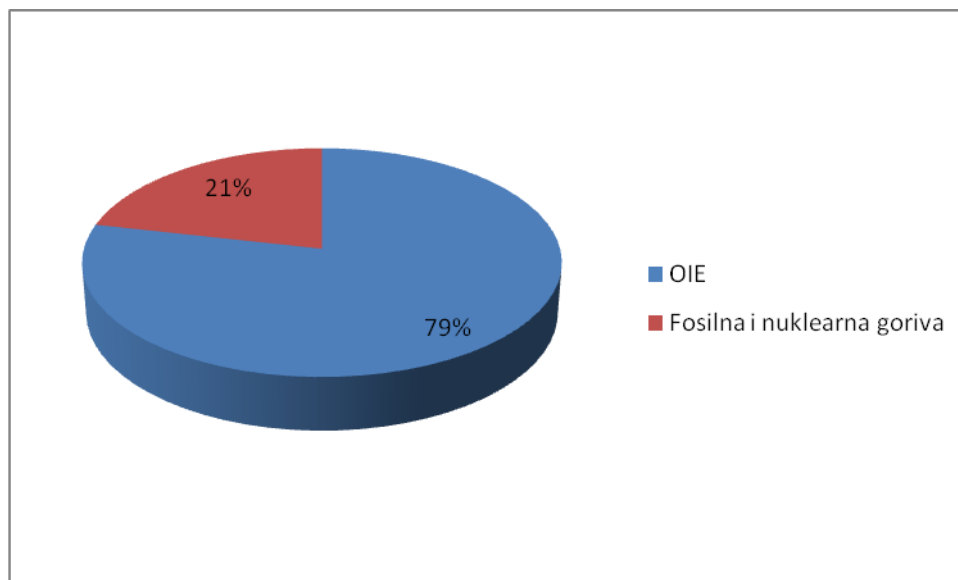
Prema EnergyPLAN-u, opskrba samo električne energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema scenariju „SOL2“ sastoji se od:

- opskrbe električne energije iz nuklearnih elektrana snage 348 MW
- opskrbe električne energije iz hidroelektrana snage 2 200 MW
- opskrba električne energije iz vjetroelektrana snage 750 MW
- opskrba električne energije iz fotonaponskih modula snage 4 285 MW

Ovdje se može vidjeti da je ukupni instalirani kapacitet fotonaponskih sustava 4 285 MW. Do tog podatka se došlo na sljedeći način. U zadatku je rečeno da se treba izraditi scenarij kada bi se instalirao 1 kW fotonaponskih modula po glavi stanovnika u RH. Republika Hrvatska ima 4 284 889 stanovnika, odnosno u ovom scenariju imati će 4 285 MW instaliranr snage fotonaponskih modula.

Također, za realizaciju ovog scenarija potrebno je zaustaviti instaliranje novih kapaciteta vjetroelektrana zbog prevelikog udjela solarnih fotonaponskih sustava, odnosno udjela proizvodnje električne energije iz OIE.

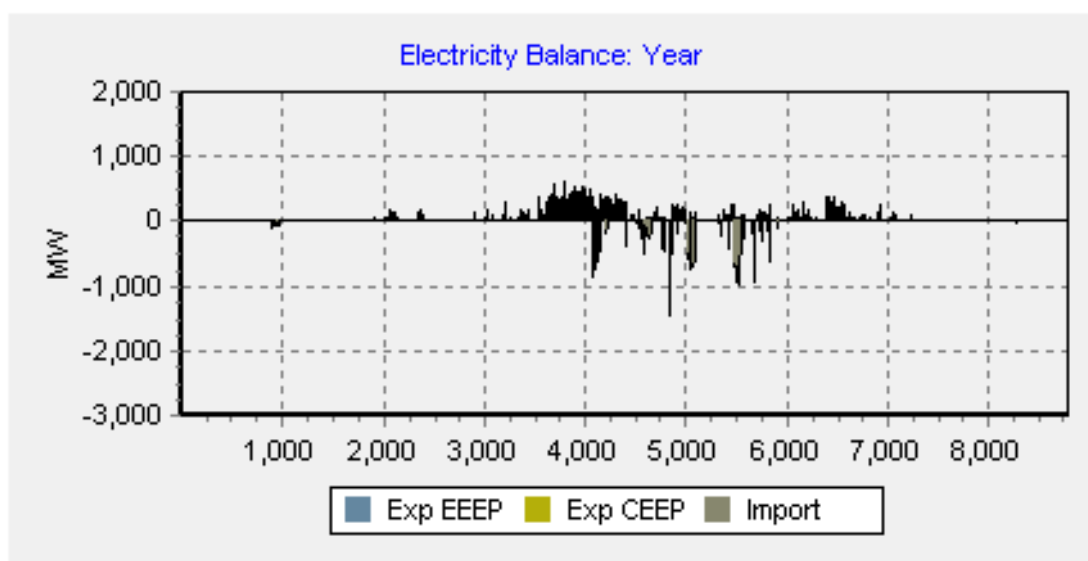
Na sljedećoj slici može se vidjeti koliki postotak, prema EnergyPLAN-u, opskrbe električne energije spada pod obnovljive izvore energije, a koliki postotak spada pod fosilna goriva i nuklearna goriva.



**Slika 32. Udio OIE u ukupnim instaliranim kapacitetima za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj u 2030. godini prema SOL2 scenariju**

Kada bi se ovakav scenarij išao primjenjivati u praksi naišlo bi se na sljedeće probleme:

- imalo bi se viška električne energije, tj. na godišnjoj razini taj bi višak iznosio 2,88 TWh. Problem je taj što fotonaponski sustav daje najviše energije po danu, tj. po noći je iskoristivost jednaka 0. Preko dana se sve potrebe za električnom energijom unutar države zadovolje, imamo i višak, dok preko noći ovaj scenarij nema dovoljno snage za samostalni rad što nas vodi prema drugom problemu. Na slici 33 se može vidjeti kroz jednu godinu, odnosno 8784 sata, problem vršnog opterećenja jednog takvog sustava koji je izrađen prema SOL2 scenariju u programu EnergyPLAN.



**Slika 33. Prikaz viška odnosno manjka snage kroz jednu godinu samostalnog rada energetakog sustava RH prema SOL2 scenariju za 2030. godinu**

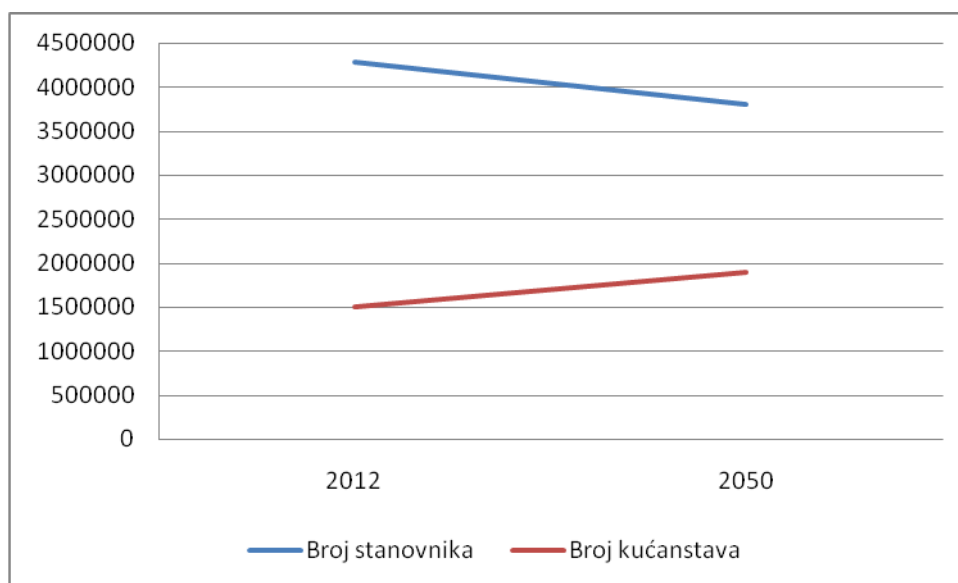
- Instalirani kapaciteti ne zadovoljavaju potrebe za električnom energijom preko noći. Moguća rješenja su sljedeća: ugradnja baterija za akumulaciju energije preko dana kada imamo višak ili povećanje broja kapaciteta vjetroelektrana koje i po noći mogu proizvoditi električnu energiju i samim time doprinjeti održivosti samog sustava. Također, sa što većim brojem električnih vozila, preko dana se može električna energija pohranjivati u električna vozila, a preko noći ta ista vraćati u sustav iz onih vozila koja se ne koriste noću. Također, mogu se izgraditi i reverzibilne hidroelektrane
- Emisije CO<sub>2</sub> nisu puno manje od one od scenarija „NU1“, „NU2“, i „SOL1“. Razlog tomu je što sustav, automatski, kada nema dovoljno električne energije iz OIE, istu tu energiju zadovoljava iz postrojenja koja koriste fosilina goriva, kao u ovom slučaju, ugljen. Problem se donekle stabilizirao tako što se u sektoru raspodjele goriva ograničio ugljen na iskorištenje njegove energije na godišnjoj razini u vrijednosti od 1 TWh fiksno. Time se dodatno smanjila emisija CO<sub>2</sub> u atmosferu.

## 5. ANALIZA I REZULTATI

U ovom poglavlju detaljnije su prikazane promjene koje će se odvijati od referentne 2012. godine do 2030. godine prema „NU1“, „NU2“, „SOL1“ i „SOL2“ scenariju. Prije svega procijenjeno je kretanje broja stanovnika, broja kućanstva u državi te porast GDP-a. Prema tim podacima su se aproksimirali neki podaci za scenarije u 2030. godini.

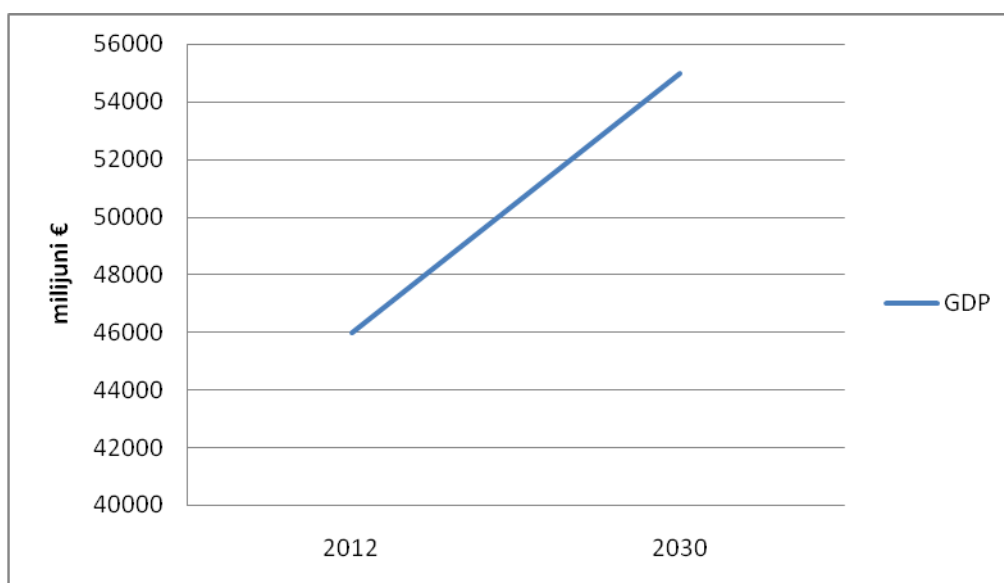
### 5.1. Analiza kretanja broja stanovnika, broja kućanstava te GDP-a

Na sljedećoj slici se može vidjeti pad broja stanovnika od 2012. godine do 2030. godine za 4,2 %. Unatoč smanjenju broja stanovnika, očekuje se povećanje broja kućanstava do kraja 2030. godine.



**Slika 34. Kretanje broja stanovnika i broja kućanstava u Hrvatskoj od 2012. godine do 2030. godine**

Prema podacima sa prethodne slike došlo se do podatka da u referentnoj 2012. godini u jednom kućanstvu živi prosječno 2,84 osoba dok se procjenjuje da će u 2030. godini u jednom kućanstvu prosječan broj stanovnika spasti na dvije osobe po kućanstvu. Predviđeno kretanje GDP – a u Hrvatskoj može se vidjeti na sljedećoj slici.



**Slika 35. Kretanje GDP – a u Hrvatskoj od 2012. godine do 2030. godine**

Podaci o projekciji broja stanovnika, broja kućanstava i rasta GDP –a vrijede i za „NU1“ i za „NU2“ scenarij u 2030. godini te su preuzeti iz bijele knjige kao i iz [27].

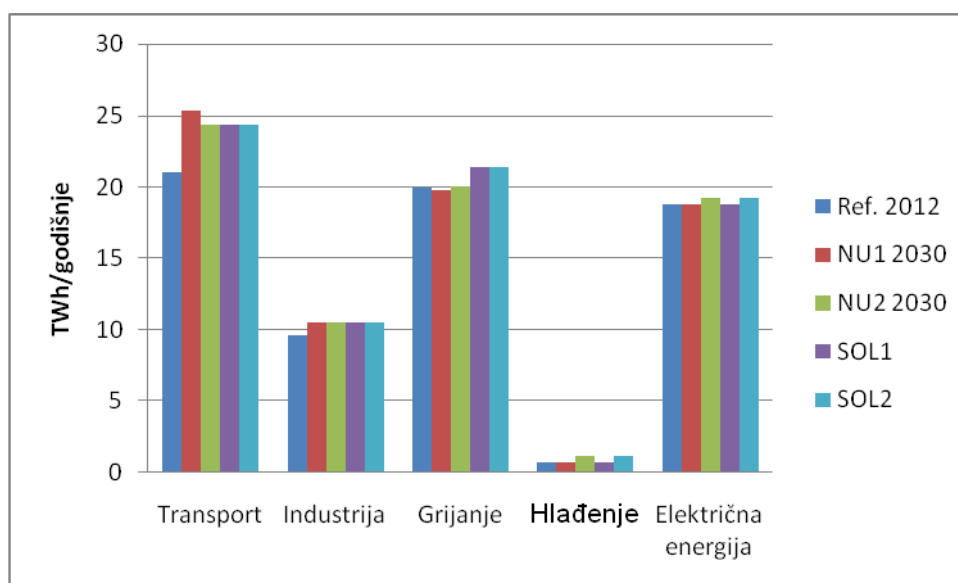
## **5.2. Analiza podataka o potrošnji energije**

Prema podacima navedenim u poglavlju 4. napravile su se projekcije potrošnje energije od 2012. godine do 2030. godine u Hrvatskoj prema „NU1“ , „NU2“ , „SOL1“ i „SOL2“ scenariju. Ukupna potrošnja energije prema EnergyPLAN - u podjeljena je na:

1. Potrošnja električne energije ( sa hlađenjem i električnim vozilima)
2. Grijanje
3. Potrošnja energije u industriji
4. Potrošnja energije u transportu

Prema podacima iz poglavlja 4. na sljedećoj slici može se vidjeti potrošnja energije od 2012. godine do 2030. godine prema „NU1“ , „NU2“ , „SOL1“ i „SOL2“ scenariju.





**Slika 36. Potrošnja energije od 2012. do 2030. godine prema „NU1“, „NU2“, „SOL1“ i „SOL2“ scenariju**

U referentnoj 2012. godini ukupna potrošnja energije iznosi 69,36 TWh dok u 2030. godini prema „NU1“ i „NU2“ scenariju iznosi 74,4 TWh. Kod „SOL1“ i „SOL2“ scenarija ukupna potrošnja je nešto viša iz razloga koji je već naveden u 4. poglavlju, tj., zbog različite metodologije proračuna, odnosno ulaznih podataka, došlo je do odstupanja u potrebnoj energiji za grijanje. Ukupna potrošnja energije u 2030. godini prema „SOL1“ i „SOL2“ scenariju iznosi 76,05 TWh.

### 5.3. Analiza podataka o opskrbi energije

Kod opskrbe energije bitno je analizirati kretanje instaliranih kapaciteta raznih izvora električne ili toplinske energije, a uz to bitno je analizirati i prikazati rezultate kako će se kretati udio instaliranih kapaciteta obnovljivih izvora energije od 2012. godine do 2030. godine prema „NU1“, „NU2“, „SOL1“ i „SOL2“ scenariju.

### 5.3.1. Opskrba električne i toplinske energije

Opskrba električne i toplinske energije kod višestambenih zgrada postiže se kotlovima i CHP postrojenjima. U sljedećoj tablici dan je prikaz instaliranih kapaciteta za referentnu 2012. godinu i za 2030. godinu za „NU1“, „NU2“, „SOL1“ i „SOL2“ scenarij.

**Tablica 17. Prikaz instaliranih kapaciteta za proizvodnju električne i toplinske energije**

<b>Tehnologija [MW]:</b>	<b>2012</b>	<b>NU1</b>	<b>NU2</b>	<b>SOL1</b>	<b>SOL2</b>
Kotlovi:	1 488	1 488	1 488	1 488	1 488
CHP:	948	1 435	1 435	1 435	1 435
<b>Ukupno:</b>	<b>2 436</b>	<b>2 923</b>	<b>2 923</b>	<b>2 923</b>	<b>2 923</b>

Iz tablice se vidi porast CHP-a na oko 50 % zgrada u kontinentalnoj Hrvatskoj prema svim scenarijima, do kraja 2030. godine

U sljedećoj tablici mogu se vidjeti instalirani kapaciteti pojedinih tehnologija koje sudjeluju u opskrbi samo električne energije u referentnoj 2012. godini te u 2030. godini za „NU1“, „NU2“, „SOL1“ i „SOL2“ scenarije.

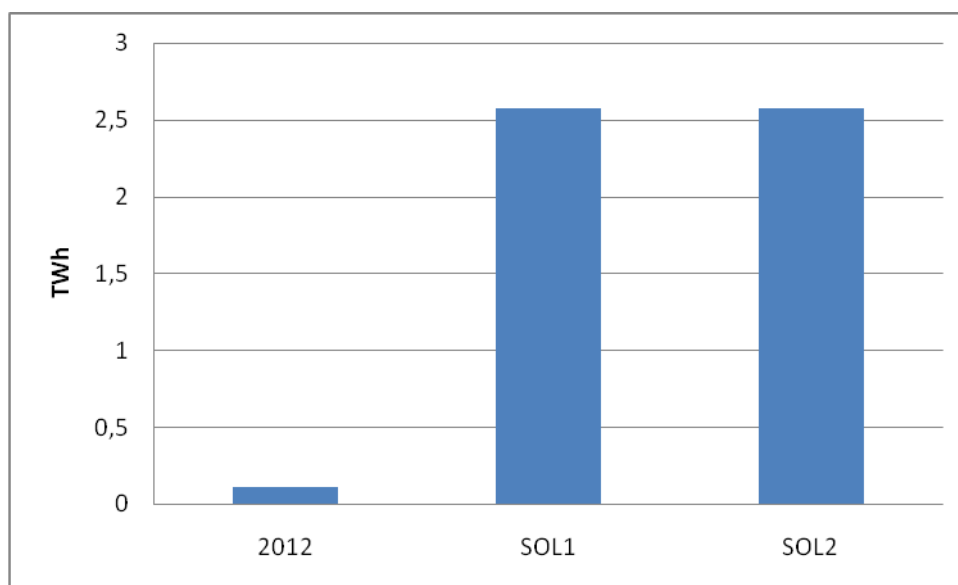
**Tablica 18. Prikaz instaliranih kapaciteta za proizvodnju samo električne energije**

<b>Tehnologija [MW]:</b>	<b>2012</b>	<b>NU1</b>	<b>NU2</b>	<b>SOL1</b>	<b>SOL2</b>
Nuklearne elektrane	348	348	348	348	348
Hidroelektrane	2 200	2 200	2 200	2 200	2 200
Vjetroturbine	180	1 600	2 000	1 544	750
Fotonaponski moduli	4	700	1 300	686	4 285
<b>Ukupno:</b>	<b>2 732</b>	<b>4 848</b>	<b>5 848</b>	<b>4 778</b>	<b>7 583</b>

Iz priložene tablice se može vidjeti da se povećava broj instaliranih kapaciteta za proizvodnju električne energije iz OIE. Također se može vidjeti kako scenarij „SOL1“ prati scenarij „NU1“ dok bi za realizaciju scenarija „SOL2“ trebalo ograničiti kapacitet vjetroelektrana na 750 MW. U scenariju „SOL2“ povećavala se samo snaga fotonaponskih sustava, te se zbog te velike količine instaliranog fotonaponskog sustava morao ograničiti kapacitet vjetroelektrana.

### 5.3.2. Opskrba samo toplinske energije

Kod opskrbe toplinske energije predviđene su samo solarne toplinske elektrane. Predviđa se smanjivanje cijena solarnih toplinskih elektrana te je to glavni razlog zašto se predviđa njihov rast od 2012. godine do 2030. godine. U 2012. godini, proizvodnja toplinske energije iz solarnih kolektora iznosila je 106,86 GWh [28] dok se u 2030. godini prema „SOL1“ i „SOL2“ scenariju očekuje proizvodnja od 2,57 TWh.

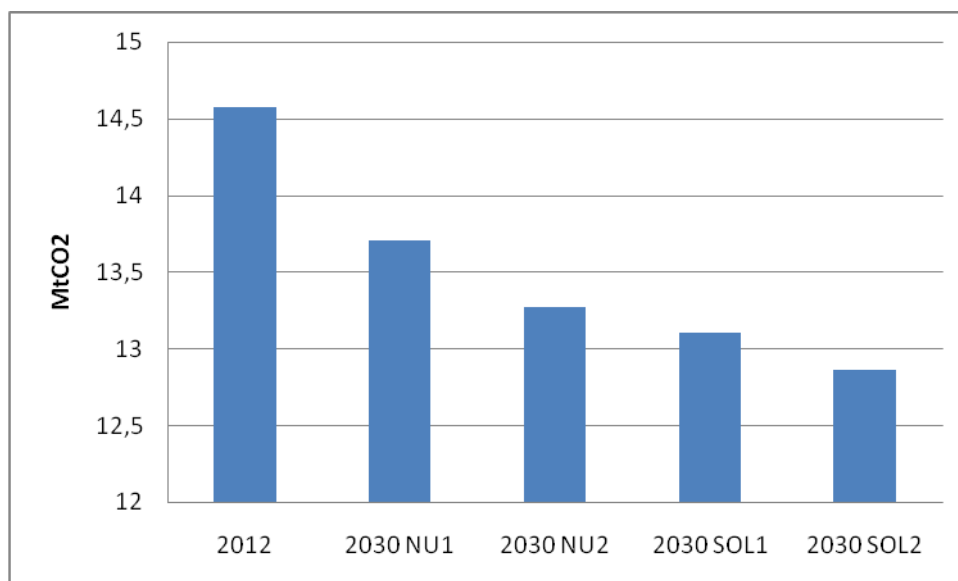


Slika 37. Prikaz proizvodnje toplinske energije iz solarnih toplinskih kolektora

Radi dobivanja što točnijih podataka, bilo toplinske energije iz solarnih toplinskih sustava, bilo električne energije iz fotonaponskih sustava, za ovaj rad je bilo potrebno napraviti dvije distribucijske krivulje. Jedna distribucijska krivulja za kontinentalnu Hrvatsku, druga za Jadransku Hrvatsku. Sa METEONORM-a su se preuzeli svi potrebni podaci za svaki grad pojedine županije i napravila se njihova srednja vrijednost.

### 5.4. Analiza podataka smanjenja emisija

Prema EnergyPLAN-u, na sljedećoj slici može se vidjeti kretanje emisija od referentne 2012. godine do 2030. godine prema „NU1“ , „NU2“ , „SOL1“ i „SOL2“ scenariju.



**Slika 38. Prikaz kretanja emisija od 2012. godine do 2030. godine**

Iz priložene slike može se vidjeti kakav utjecaj bi imali „SOL1“ i „SOL2“ scenarij na prirodu i okoliš u Hrvatskoj. U „SOL1“ scenariju u 2030. godini vidi se pad emisija za 11,1 % u odnosu na 2012. godinu i sa tim scenarijem već dolazi do pada stakleničkih plinova. U „SOL2“ scenariju predviđa se dodatno smanjenje emisija i sa tim scenarijom Republika Hrvatska bi emitirala 12,858 MtCO<sub>2</sub> godišnje.

## **5.5. Usporedba zemalja EU i RH u dobivanju toplinske energije iz solarnih sustava prije i poslije solarizacije.**

### **5.5.1. Instalirani kapaciteti solarnih toplinskih sustava prije Solarizacije**

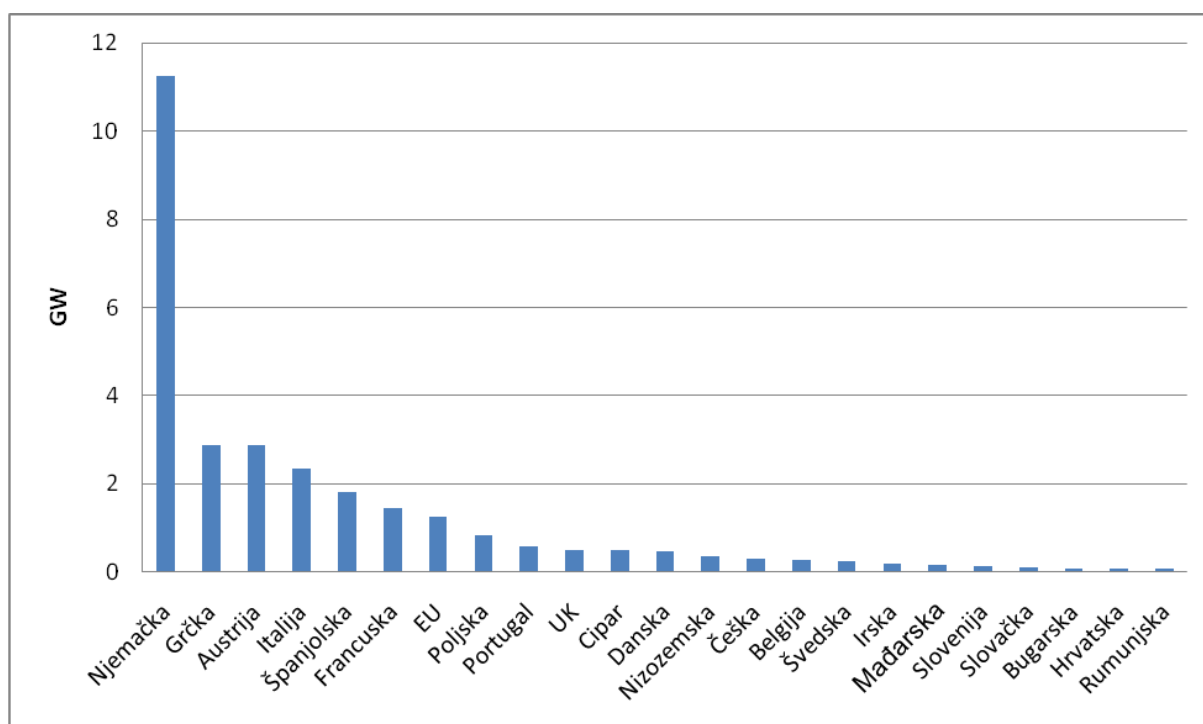
U ovom dijelu analize detaljnije će se analizirati proizvodnja električne energije iz fotonaponskih sustava, kao i proizvodnja toplinske energije iz solarnih toplinskih kolektora za svaku državu koja je članica EU. Usporediti će se i smanjenje emisija CO<sub>2</sub> u atmosferu u odnosu kada bi se ta ista energija proizvela iz fosilnih goriva.

Njemačka, kao vodeća zemlja Europske unije u instaliranim kapacitetima solarnih toplinskih sustava, ima kapacitet solarnih toplinskih sustava od 11,234 GW za koje je bilo potrebno ugraditi 16 049 000 m<sup>2</sup> toplinskih kolektora. Druga je Grčka koja ima instalirani kapacitet u iznosu od 2,883 GW, što je za oko 3 puta manje od Njemačke. Hrvatska se nalazi na samom dnu Europske unije sa svojim kapacitetom od 0,084 GW, što je za skoro 15 puta manje od Europskog prosijeka koji iznosi 1,250 GW. [29]

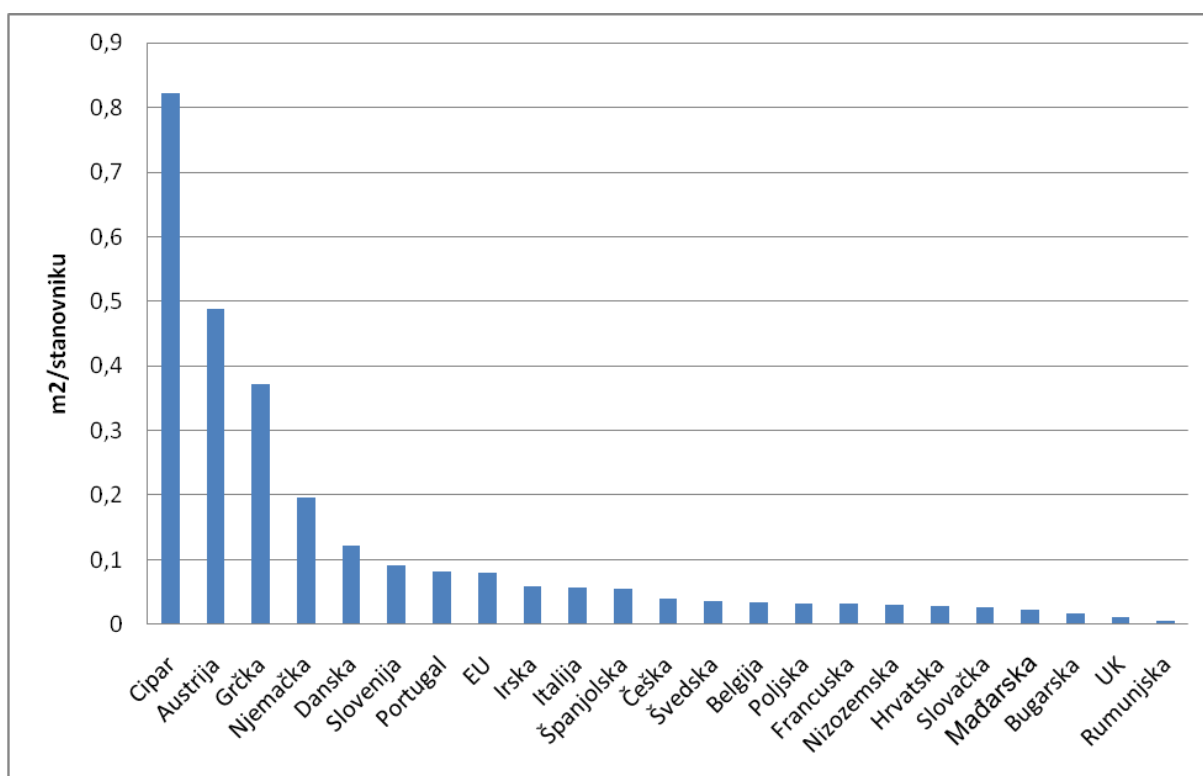
Njemačka na godišnjoj razini proizvede 7,124 TWh toplinske energije iz solarnih toplinskih sustava. Samim time, prema [30], smanjenje emisija CO<sub>2</sub> iznosi 2,475 Mt godišnje, što opet Njemačku svrstava u vodeću zemlju Europske unije. Hrvatska na godišnjoj razini proizvede 0,075 TWh toplinske energije i samim time smanjuje emisije CO<sub>2</sub> za 0,026 Mt godišnje. Prosijek proizvodnje toplinske energije u EU iznosi 1,008 TWh godišnje, dok smanjenje emisija CO<sub>2</sub> iznosi 0,35 Mt godišnje. Iz ovih podataka se također može viditi da RH još uvijek čvrsto stoji na samom dnu Europe. [30]

**Tablica 19. Instalirani kapaciteti solarnih toplinskih sustava po zemaljama EU za referentu 2012. godinu**

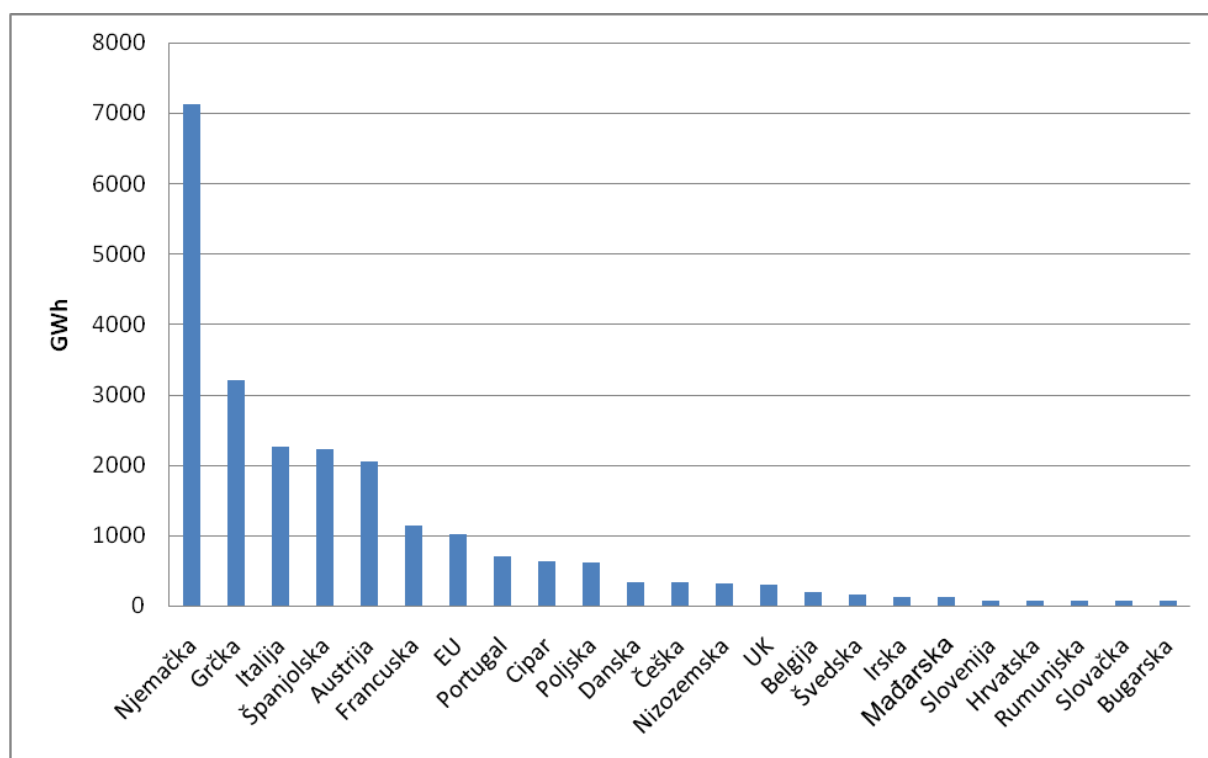
	2012. godina					
	Kapacitet [GW]	Površina [m <sup>2</sup> ]	Broj stanovnika [-]	Površina po glavi stanovnika [m <sup>2</sup> ]	Proizvodnja topl. en. godišnje [TWh]	Smanjenje emisija [MtCO <sub>2</sub> ]
Njemačka	11,234	16 049 000	81 844 000	0,196	7,124	2,475
Grčka	2,883	4 119 200	11 086 000	0,371	3,207	1,114
Austrija	2,875	4 108 338	8 408 000	0,488	2,044	0,710
Italija	2,356	3 365 730	59 394 000	0,056	2,266	0,787
Španjolska	1,811	2 587 162	46 818 000	0,055	2,228	0,774
Francuska	1,452	2 074 400	65 277 000	0,031	1,144	0,397
<b>EU - Prosijek</b>	<b>1,250</b>	<b>1 787 078</b>	<b>22 402 591</b>	<b>0,077</b>	<b>1,008</b>	<b>0,350</b>
Poljska	0,847	1 211 390	38 064 000	0,031	0,606	0,210
Portugal	0,599	856 867	10 542 000	0,081	0,701	0,243
UK	0,496	709 673	63 495 000	0,011	0,297	0,103
Cipar	0,495	707 776	862 000	0,821	0,623	0,216
Danska	0,477	682 345	5 581 000	0,122	0,335	0,116
Nizozemska	0,356	509 065	16 730 000	0,030	0,310	0,107
Češka	0,299	427 327	10 505 000	0,040	0,332	0,115
Belgija	0,269	384 533	11 095 000	0,034	0,199	0,069
Švedska	0,242	345 731	9 483 000	0,036	0,166	0,057
Irska	0,189	270 769	4 583 000	0,059	0,116	0,040
Mađarska	0,153	219 814	9 932 000	0,022	0,114	0,039
Slovenija	0,130	186 800	2 055 000	0,090	0,078	0,027
Slovačka	0,102	147 000	5 404 000	0,027	0,071	0,024
Bugarska	0,085	122 100	7 327 000	0,016	0,066	0,022
<b>Hrvatska</b>	<b>0,084</b>	<b>120 000</b>	<b>4 276 000</b>	<b>0,028</b>	<b>0,075</b>	<b>0,026</b>
Rumunjska	0,077	110 700	20 096 000	0,005	0,073	0,025



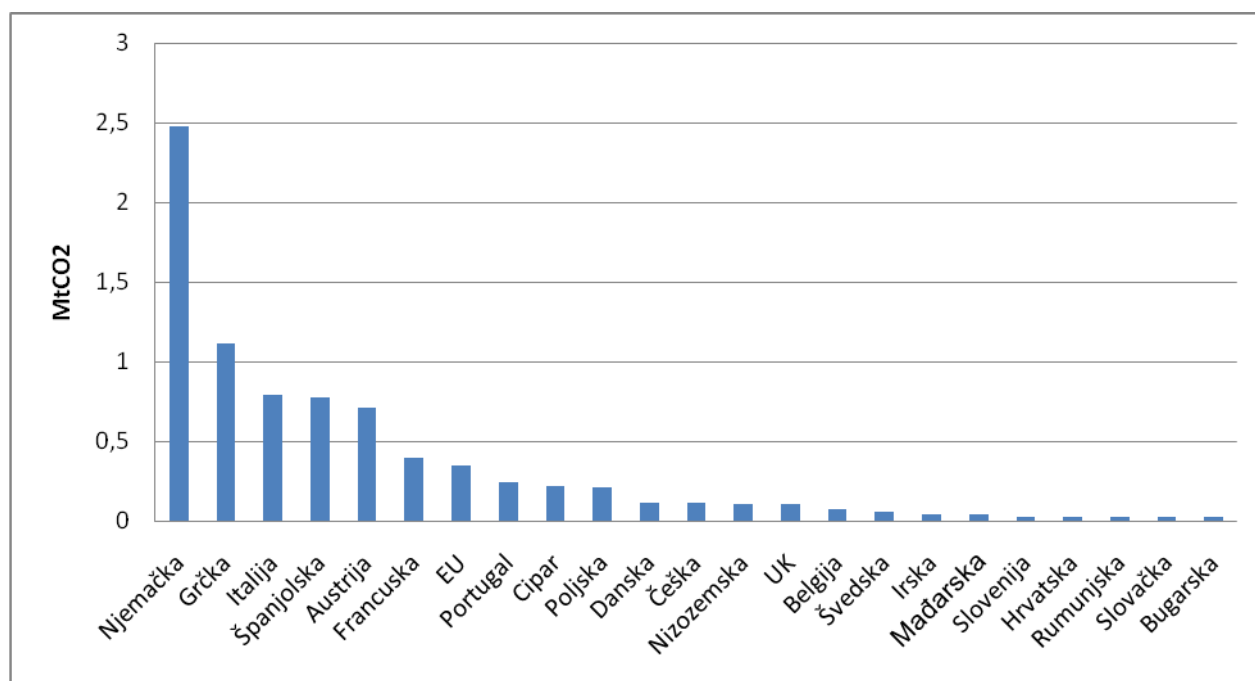
**Slika 39. Instalirani kapaciteti solarnih toplinskih sustava unutar država članica EU prema referentnoj 2012. godini**



**Slika 40. Površina solarnih toplinskih kolektora instaliranih po glavi stanovnika unutar država članica EU prema referentnoj 2012. godini**



**Slika 41. Godišnja proizvodnja toplinske energije iz solarnih toplinskih sustava unutar država članica EU prema referentnoj 2012. godini**



**Slika 42. Smanjenje emisija CO<sub>2</sub> unutar država članica EU prema referentnoj 2012. godini**

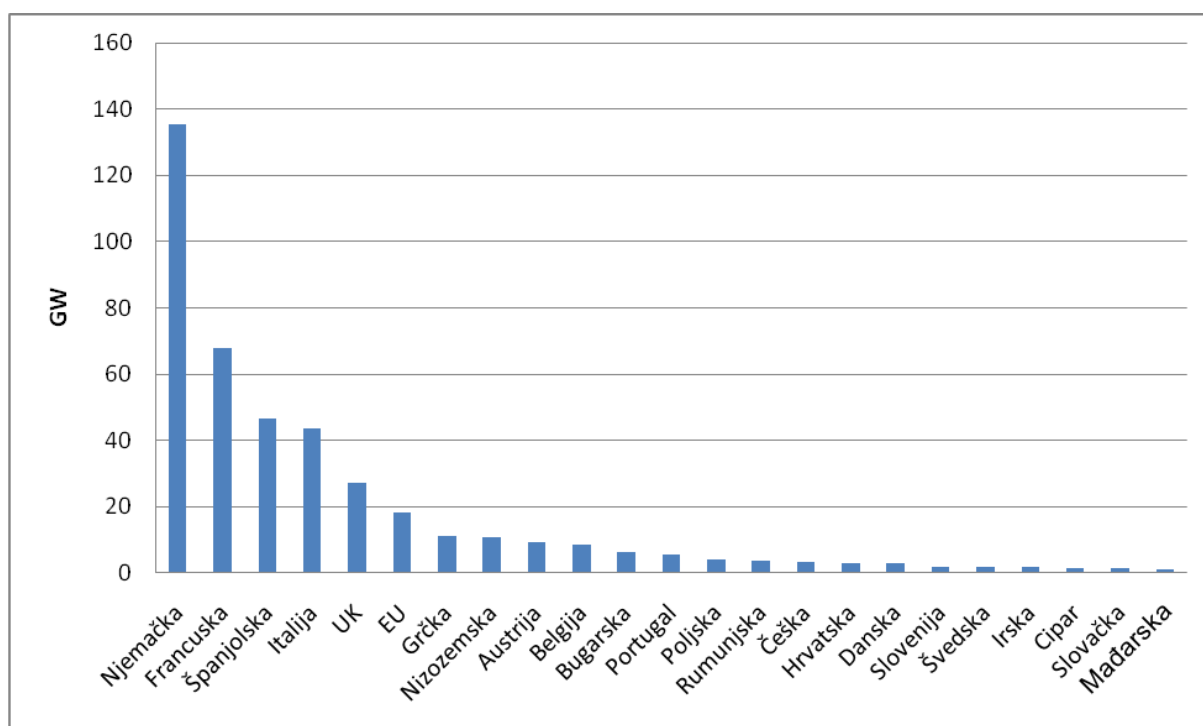
### 5.5.2. Instalirani kapaciteti solarnih toplinskih sustava nakon Solarizacije

Kada bi se instalirao 1 m<sup>2</sup> solarnih toplinskih kolektora po glavi stanovnika Republika Hrvatska bi imala ukupni instalirani kapacitet od skoro 3 GW. Samim time, Hrvatska ne bi napravila veliki korak u odnosu na druge članice države Europske unije u instaliranim kapacitetima Iz scenarija „SOL1„ za 2030. godinu, prema energyPLANU-u, dobilo se da, godišnja proizvodnja iz solarnih toplinskih kolektora iznosi 2,679 TWh i samim time emisije CO<sub>2</sub> u atmosferu će biti manje za 0,931 MtCO<sub>2</sub>. Iz [31], se za 2030. godinu uzeo podatak o proizvodnji toplinske energije za svaku državu, te se na temelju poznatih podataka o insolaciji za svaku državu izračunao kapacitet solarnih toplinskih sustava.

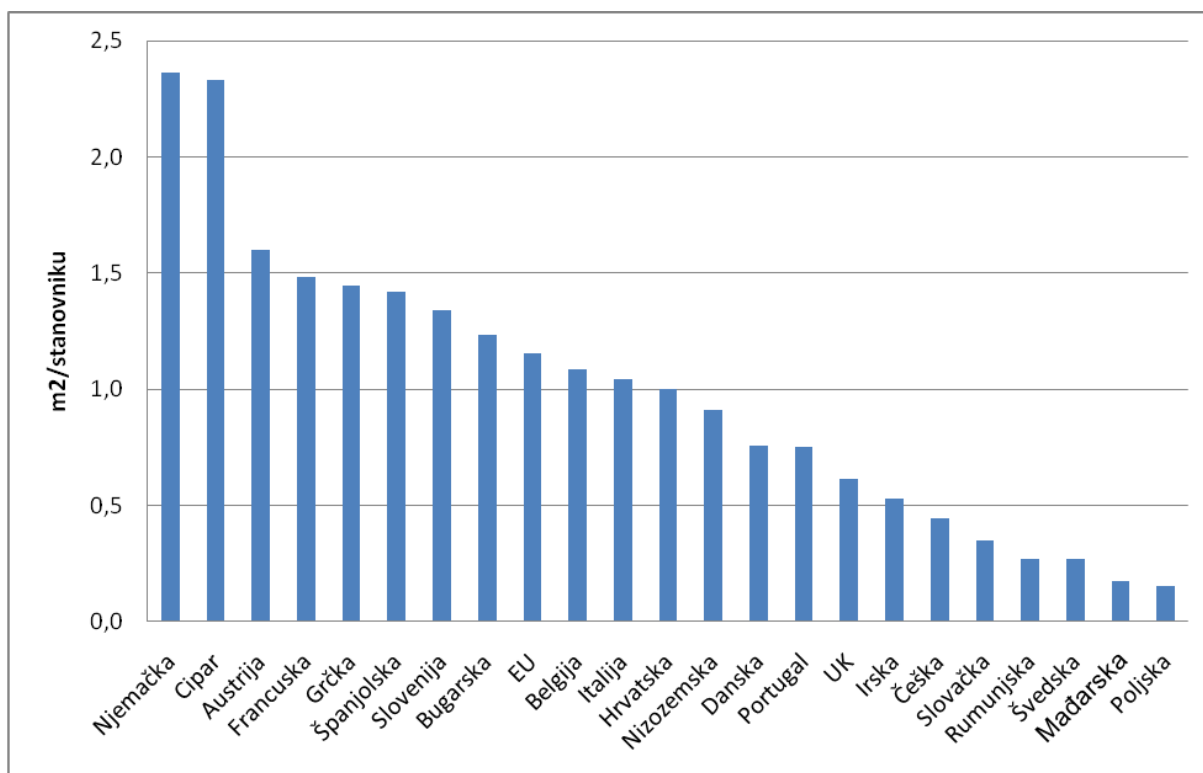
**Tablica 20. Instalirani kapaciteti solarnih toplinskih sustava po zemaljama EU nakon Solarizacije za 2030. godinu [31]**

	2030. godina					
	Kapacitet [GW]	Površina [m <sup>2</sup> ]	Broj stanovnika [-]	Površina po glavi stanovnika [m <sup>2</sup> ]	Proizvodnja topl. en. godišnje [TWh]	Smanjenje emisija [MtCO <sub>2</sub> ]
Njemačka	135,405	193 435 056	81 844 000	2,363	85,864	29,835
Francuska	67,712	96 731 593	65 277 000	1,482	53,346	18,536
Španjolska	46,529	66 469 612	46 818 000	1,420	57,242	19,890
Italija	43,470	62 099 649	59 394 000	1,046	41,809	14,527
UK	27,331	39 043 954	63 495 000	0,615	16,34	5,678
<b>EU - Prosijek</b>	<b>18,119</b>	<b>25 883 777</b>	<b>22 402 591</b>	<b>1,155</b>	<b>14,664</b>	<b>5,095</b>
Grčka	11,209	16 013 117	11 086 000	1,444	12,467	4,332
Nizozemska	10,695	15 278 540	16 730 000	0,913	9,304	3,233
Austrija	9,408	13 440 538	8 408 000	1,599	6,687	2,323
Belgija	8,447	12 067 375	11 095 000	1,088	6,245	2,170
Bugarska	6,340	9 057 600	7 327 000	1,236	4,896	1,701
Portugal	5,552	7 931 827	10 542 000	0,752	6,489	2,255
Poljska	4,085	5 835 062	38 064 000	0,153	2,919	1,014
Rumunjska	3,827	5 466 760	20 096 000	0,759	3,605	1,253
Češka	3,290	4 699 311	10 505 000	0,447	3,651	1,269
<b>Hrvatska</b>	<b>2,999</b>	<b>4 284 800</b>	<b>4 276 000</b>	<b>1</b>	<b>2,679</b>	<b>0,931</b>
Danska	2,967	4 238 691	5 581 000	0,759	2,081	0,723
Slovenija	1,930	2 756 497	2 055 000	1,341	1,151	0,400
Švedska	1,780	2 543 000	9 483 000	0,268	1,221	0,424
Irska	1,691	2 415 909	4 583 000	0,527	1,035	1,360
Cipar	1,405	2 007 447	862 000	2,329	1,767	0,614
Slovačka	1,315	1 877 873	5 404 000	0,347	0,907	0,315
Mađarska	1,224	1 748 873	9 932 000	0,176	0,907	0,315

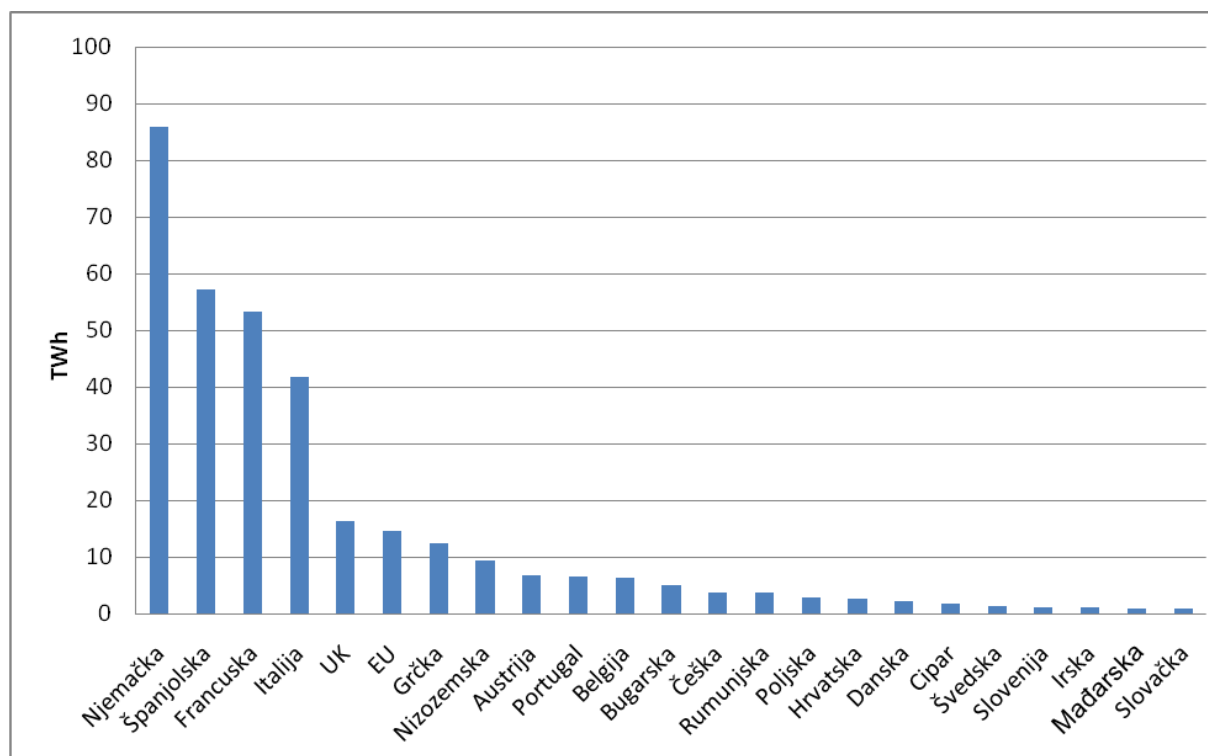




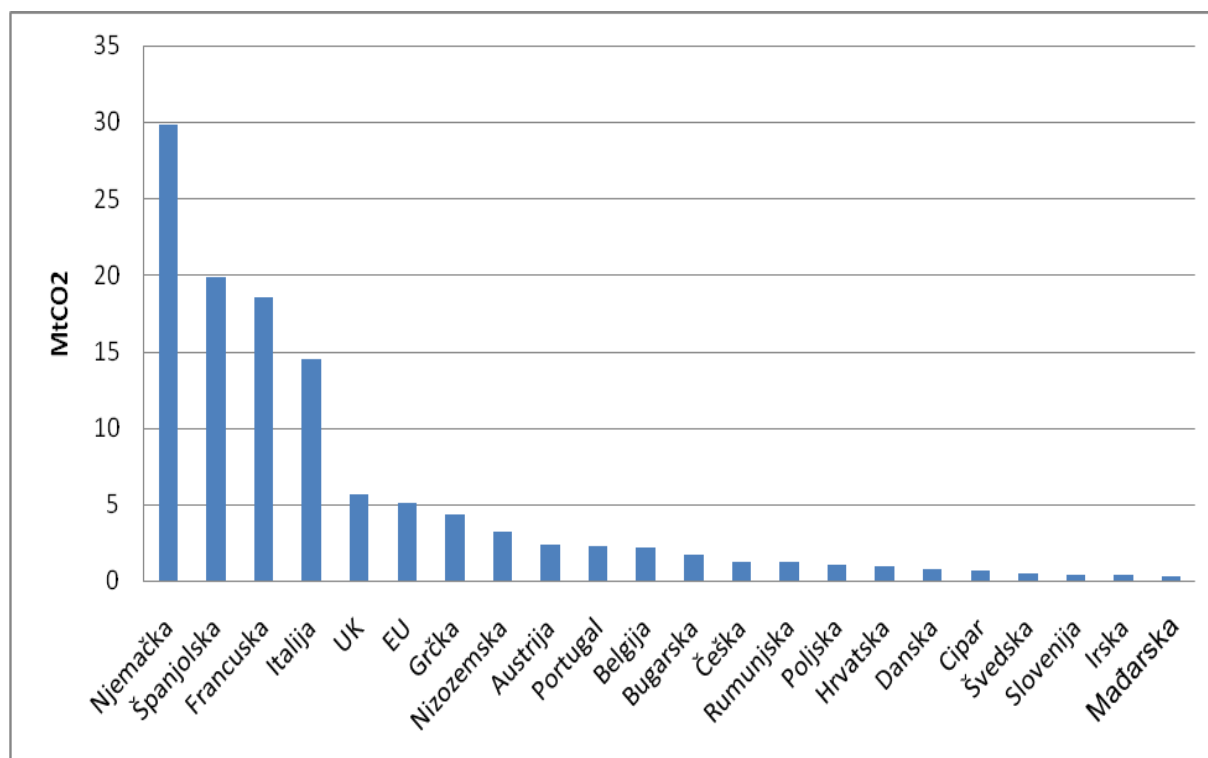
**Slika 43. Instalirani kapaciteti solarnih toplinskih sustava unutar država članica EU nakon Solarizacije za 2030. godinu**



**Slika 44. Površina solarnih toplinskih kolektora instaliranih po glavi stanovnika unutar država članica EU nakon Solarizacije za 2030. godinu**



**Slika 45. Godišnja proizvodnja toplinske energije iz solarnih toplinskih sustava unutar država članica EU nakon Solarizacije za 2030. godinu**



**Slika 46. Smanjenje emisija CO<sub>2</sub> unutar država članica EU nakon Solarizacije za 2030. Godinu**

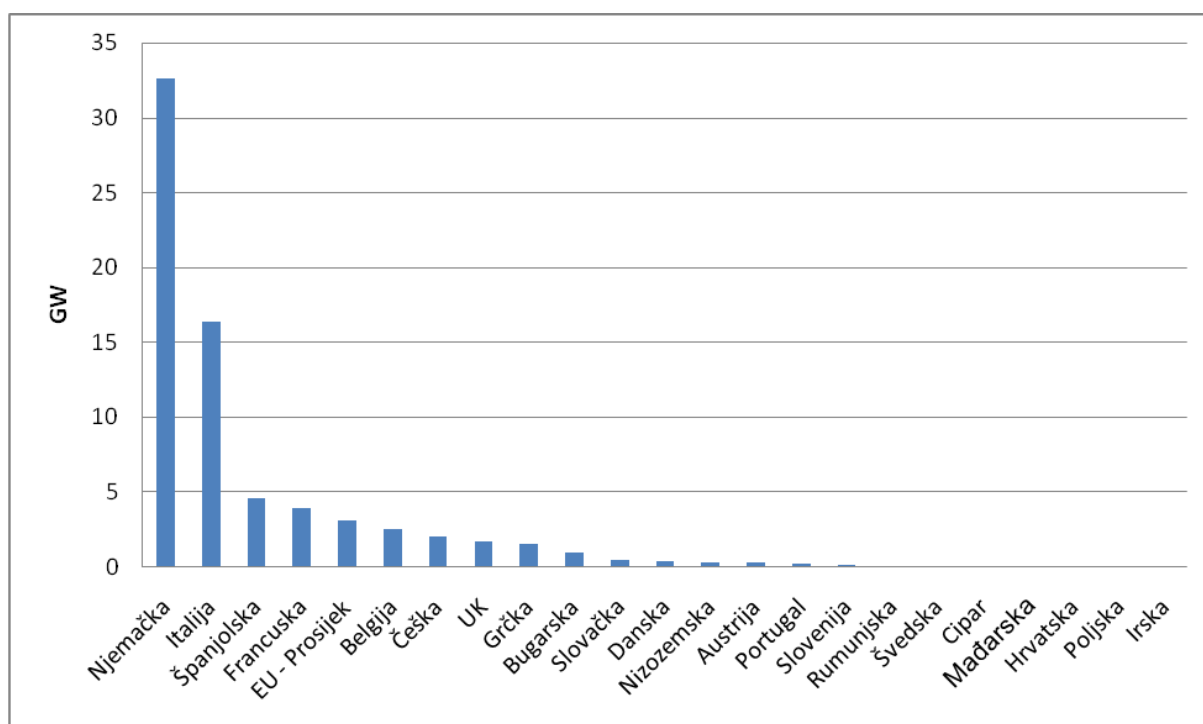
## 5.6. Usporedba zemalja EU i RH u dobivanju električne energije iz fotonaponskih sustava prije i poslije solarizacije.

### 5.6.1. Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava prije Solarizacije

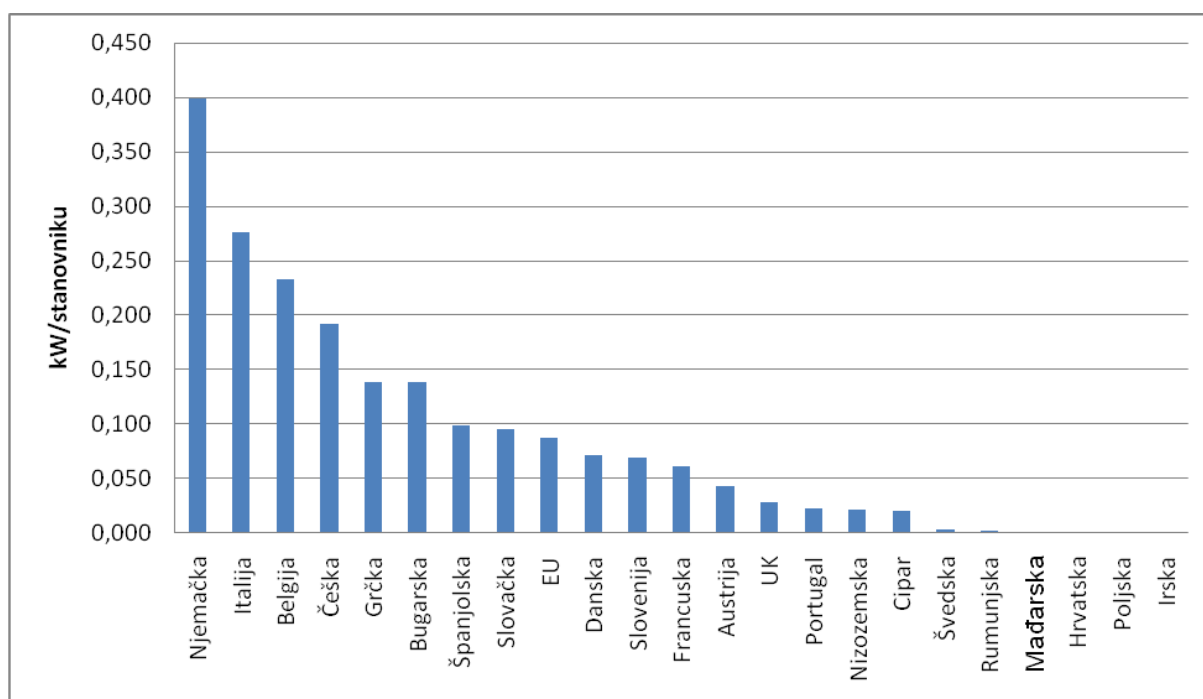
Njemačka kao vodeća država Europske unije ima ukupni kapacitet fotonaponskih sustava u iznosi od 32,641 GW što je oko 0,4 kW po glavi stanovnika. Na godišnjoj razini Njemačka proizvede 26,4 TWh električne energije i samim time smanji emisije CO<sub>2</sub> u atmosferu za 20,451 Mt godišnje. Hrvatska stoji na samom dnu Europe sa svojih čuvenih 1 promila, odnosno 0,001 kW po glavi stanovnika, što daje ukupni kapacitet od 0,004 GW fotonaponskih sustava čija proizvodnja iznosi 0,01 TWh električne energije godišnje. [32]

**Tablica 21. Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava po zemaljama EU za referentu 2012. godinu**

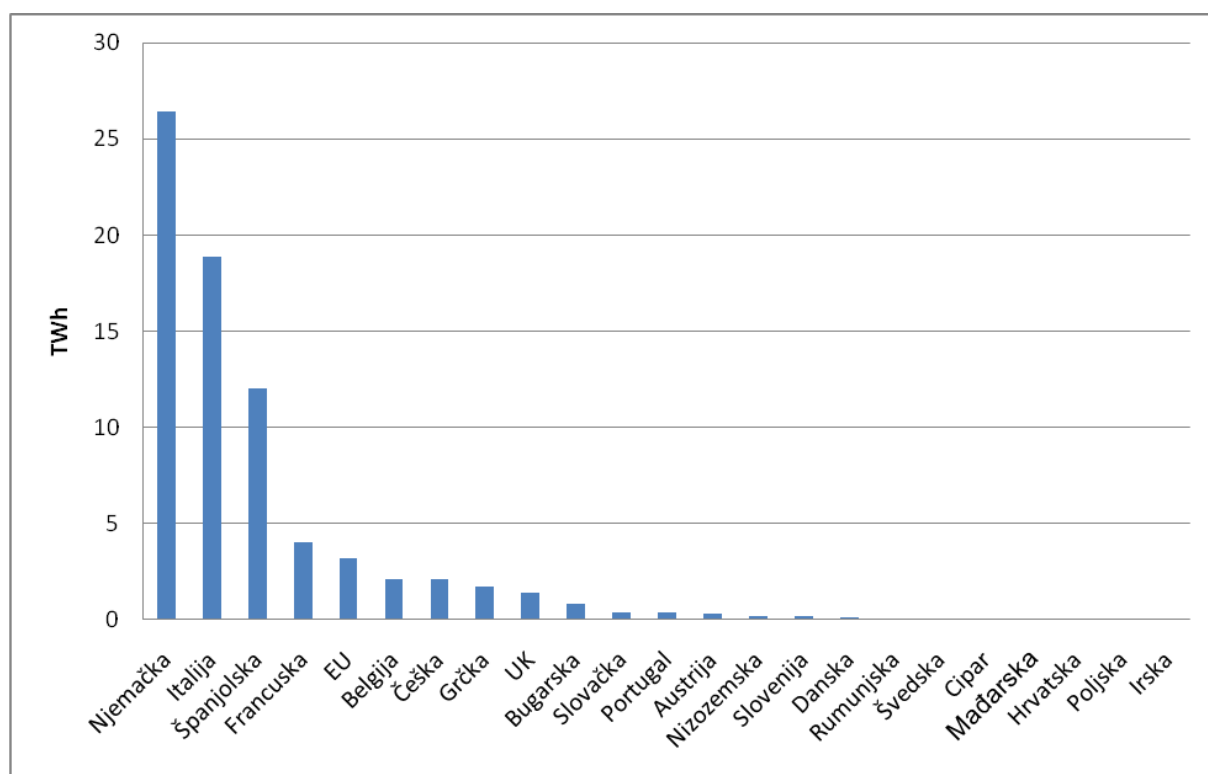
	2012. godina				
	Kapacitet [GW]	Broj stanovnika [-]	kW po glavi stanovnika [kW]	Proizvodnja el. en. godišnje [TWh]	Smanjenje emisija [MtCO <sub>2</sub> ]
Njemačka	32,641	81 844 000	0,399	26,400	20,451
Italija	16,42	59 394 000	0,276	18,900	14,641
Španjolska	4,646	46 818 000	0,099	12,000	9,296
Francuska	3,965	65 277 000	0,061	4,000	3,099
<b>EU - Prosijek</b>	<b>3,123</b>	<b>22 402 591</b>	<b>0,087</b>	<b>3,228</b>	<b>2,500</b>
Belgija	2,581	11 095 000	0,233	2,100	1,627
Češka	2,022	10 505 000	0,192	2,100	1,627
UK	1,756	63 495 000	0,028	1,400	1,085
Grčka	1,536	11 086 000	0,139	1,700	1,317
Bugarska	1,013	7 327 000	0,138	0,800	0,620
Slovačka	0,513	5 404 000	0,095	0,400	0,310
Danska	0,402	5 581 000	0,072	0,100	0,077
Nizozemska	0,369	16 730 000	0,022	0,200	0,155
Austrija	0,363	8 408 000	0,043	0,300	0,232
Portugal	0,238	10 542 000	0,023	0,400	0,310
Slovenija	0,142	2 055 000	0,069	0,200	0,155
Rumunjska	0,041	20 096 000	0,002	0,000	0,000
Švedska	0,024	9 483 000	0,003	0,000	0,000
Cipar	0,017	862 000	0,020	0,000	0,000
Mađarska	0,012	9 932 000	0,001	0,000	0,000
<b>Hrvatska</b>	<b>0,004</b>	<b>4 276 000</b>	<b>0,001</b>	<b>0,01</b>	<b>0,008</b>
Poljska	0,001	38 064 000	0,000	0,000	0,000
Irska	0,001	4 583 000	0,000	0,000	0,000



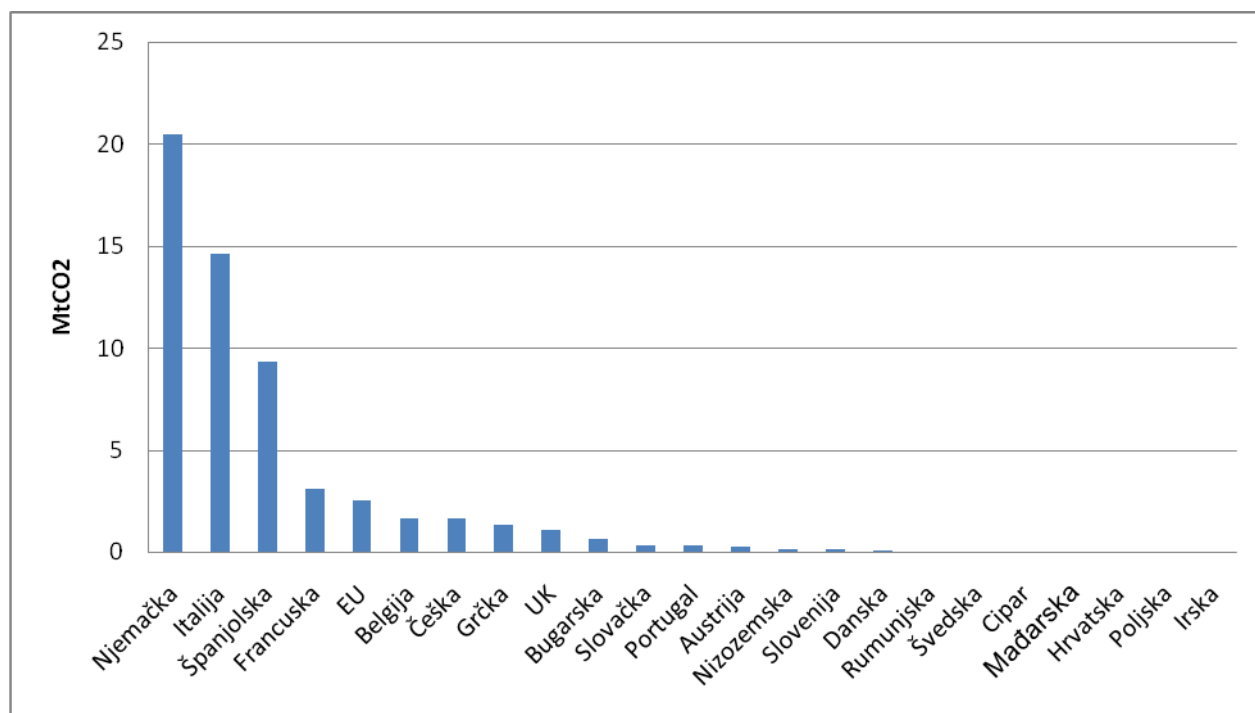
**Slika 47. Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava unutar država članica EU prema referentnoj 2012. godini**



**Slika 48. Kapacitet fotonaponskih sustava instaliranih po glavi stanovnika unutar država članica EU prema referentnoj 2012. godini**



**Slika 49. Godišnja proizvodnja električne energije iz fotonaponskih sustava unutar država članica EU prema referentnoj 2012. godini**



**Slika 50. Smanjenje emisija CO<sub>2</sub> unutar država članica EU prema referentnoj 2012. godini**

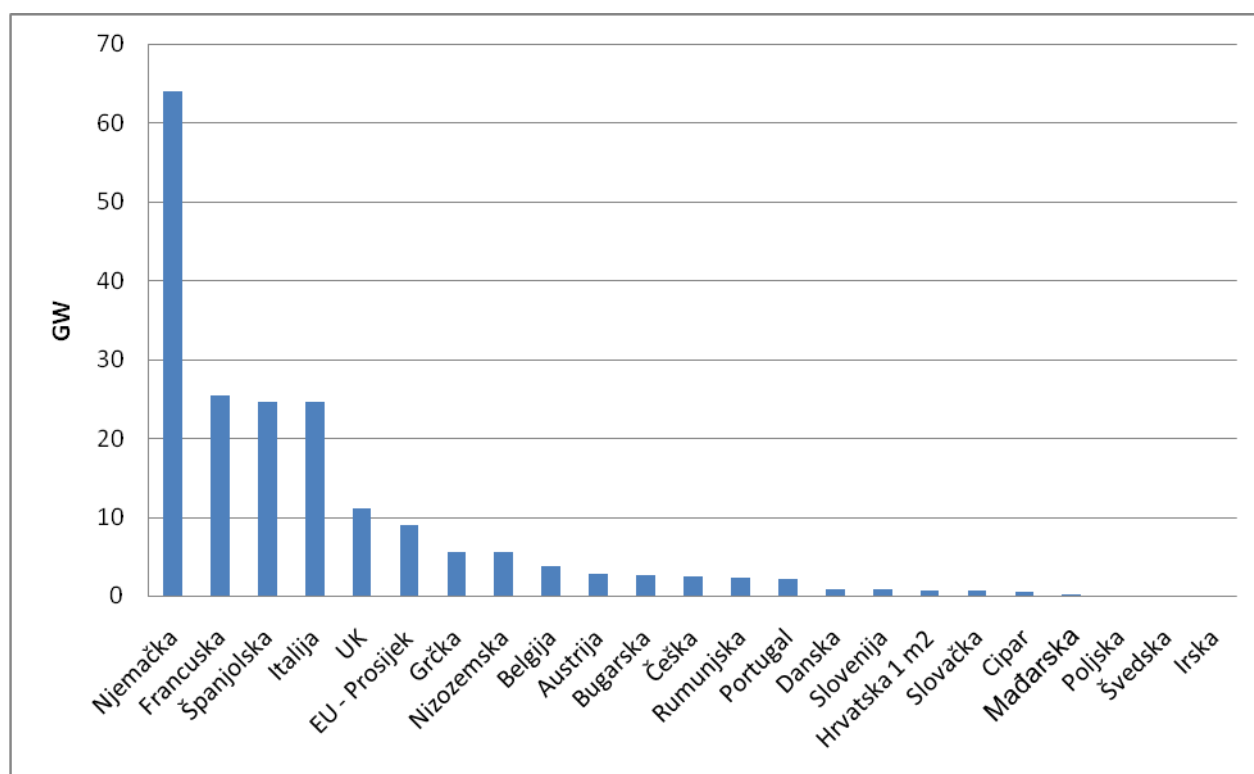
### 5.6.2. Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava nakon Solarizacije

#### 5.6.2.1. Slučaj instalacije od 1 m<sup>2</sup> fotonapona po glavi stanovnika – SOL1

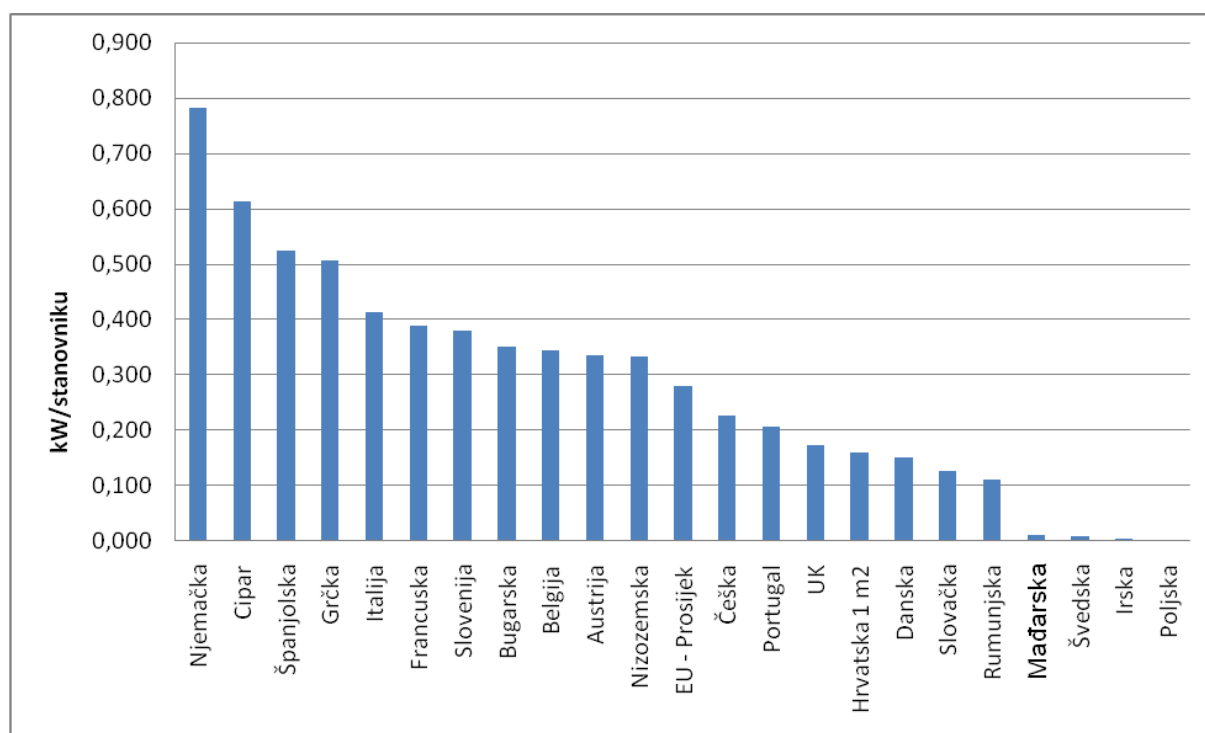
Kada bi se instalirao 1 m<sup>2</sup> fotonaponskih modula po glavi stanovnika do 2030. godine Republika Hrvatska bi imala ukupni instalirani kapacitet od 686 MW. Samim time, Hrvatska ne bi napravila značajan pomak u odnosu na druge zemlje članice EU. Hrvatska bi bila opet pri samom dnu EU s instaliranim kapacitetima u iznosu od 0,16 kW po glavi stanovnika. Iz scenarija „SOL1„ za 2030. godinu, prema energyPLANU-u, dobije se da godišnja proizvodnja iz fotonaponskih sustava iznosi 1,04 TWh i samim time smanjenje emisija CO<sub>2</sub> u okoliš su manje za 0,806 MtCO<sub>2</sub>.

**Tablica 22. Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava po zemaljama EU nakon SOL1 za 2030. godinu [31]**

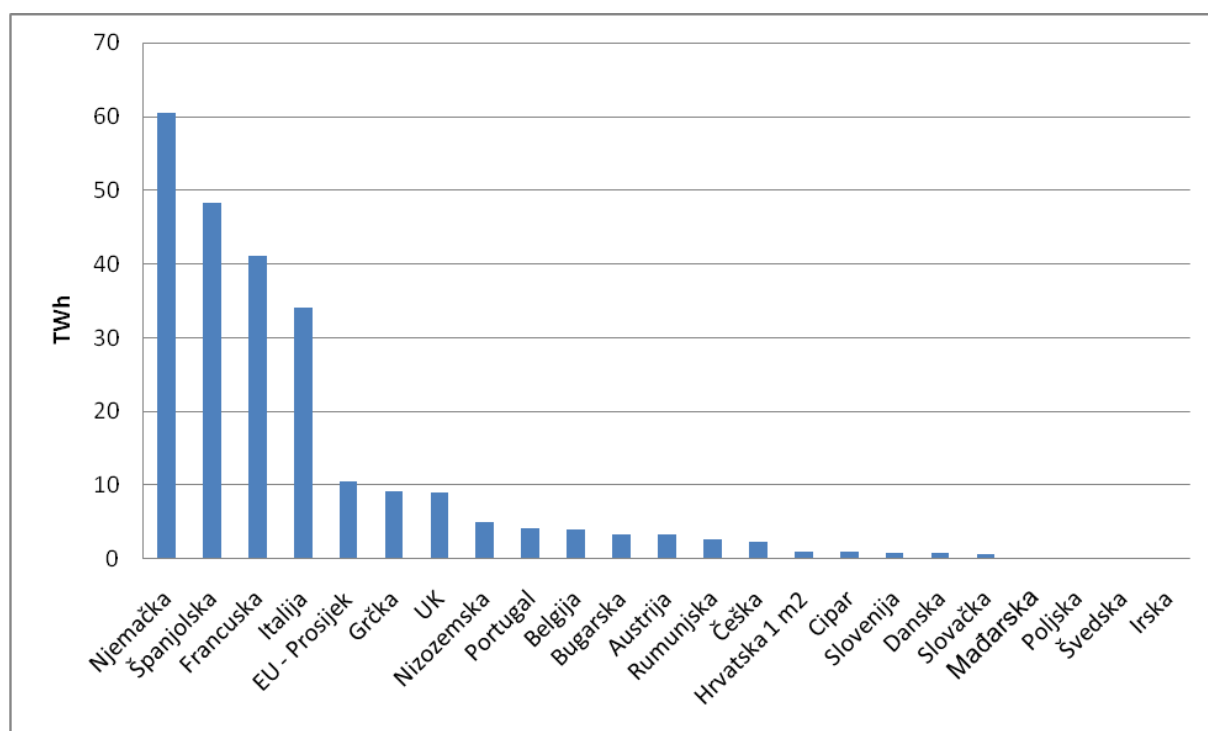
	2030. godina				
	Kapacitet [GW]	Broj stanovnika [-]	kW po glavi stanovnika [kW]	Proizvodnja el. en. godišnje [TWh]	Smanjenje emisija [MtCO <sub>2</sub> ]
Njemačka	63,959	81 844 000	0,781	60,513	46,878
Francuska	25,382	65 277 000	0,389	41,048	31,799
Španjolska	24,564	46 818 000	0,525	48,361	37,464
Italija	24,562	59 394 000	0,414	34,027	26,360
UK	11,043	63 495 000	0,174	8,985	6,960
<b>EU - Prosjek</b>	<b>8,206</b>	<b>22 402 591</b>	<b>0,280</b>	<b>10,529</b>	<b>8,157</b>
Grčka	5,616	11 086 000	0,507	9,252	7,167
Nizozemska	5,586	16 730 000	0,334	5,004	3,876
Belgija	3,818	11 095 000	0,344	4,013	3,109
Austrija	2,821	8 408 000	0,336	3,312	2,566
Bugarska	2,572	7 327 000	0,351	3,323	2,574
Češka	2,391	10 505 000	0,228	2,276	1,763
Rumunjska	2,223	20 096 000	0,111	2,77	2,146
Portugal	2,172	10 542 000	0,206	4,229	3,276
Danska	0,838	5 581 000	0,150	0,768	0,595
Slovenija	0,779	2 055 000	0,379	0,849	0,658
<b>Hrvatska 1 m<sup>2</sup></b>	<b>0,686</b>	<b>4 276 000</b>	<b>0,160</b>	<b>1,04</b>	<b>0,806</b>
Slovačka	0,68	5 404 000	0,126	0,619	0,480
Cipar	0,529	862 000	0,614	0,979	0,758
Mađarska	0,106	9 932 000	0,011	0,097	0,075
Poljska	0,099	38 064 000	0,003	0,084	0,065
Švedska	0,088	9 483 000	0,009	0,075	0,058
Irska	0,019	4 583 000	0,004	0,016	0,012



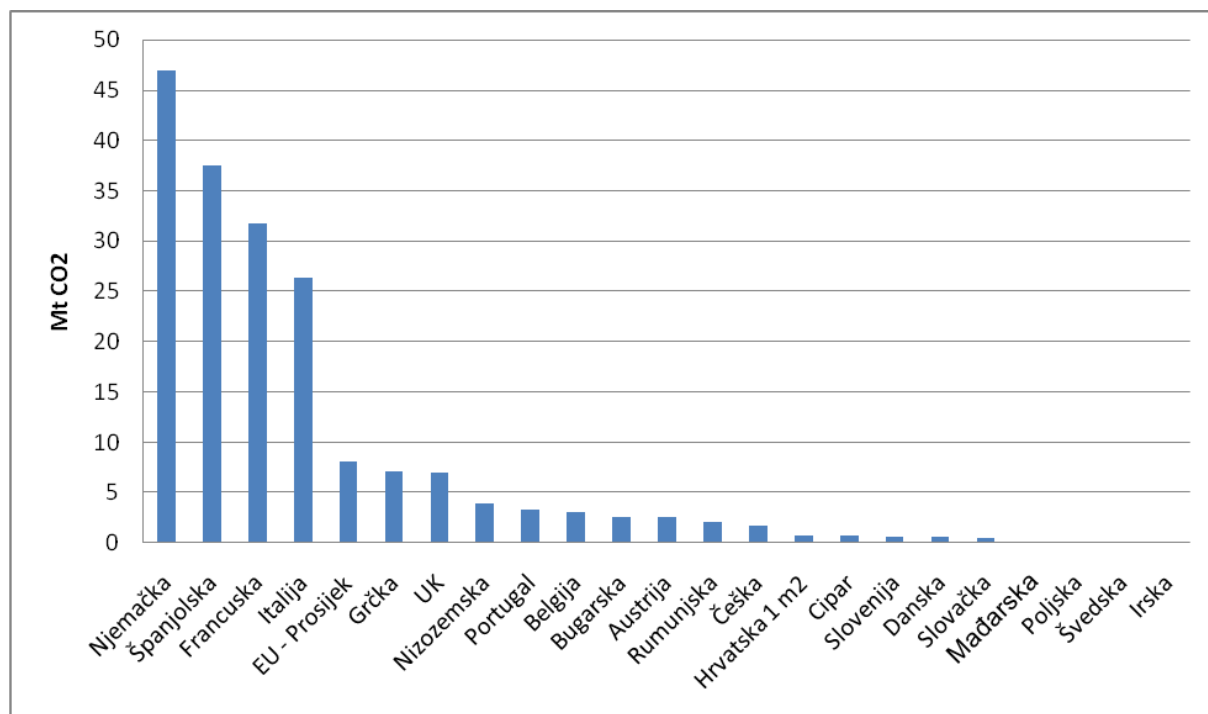
**Slika 51. Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava unutar država članica EU nakon SOL1 scenarija za 2030. godinu**



**Slika 52. Kapacitet fotonaponskih sustava instaliranih po glavi stanovnika unutar država članica EU nakon SOL1 scenarija za 2030. godinu**



**Slika 53. Godišnja proizvodnja električne energije iz fotonaponskih sustava unutar država članica EU nakon SOL1 scenarija za 2030. godinu**



**Slika 54. Smanjenje emisija CO<sub>2</sub> unutar država članica EU nakon SOL1 scenarija za 2030. godinu**

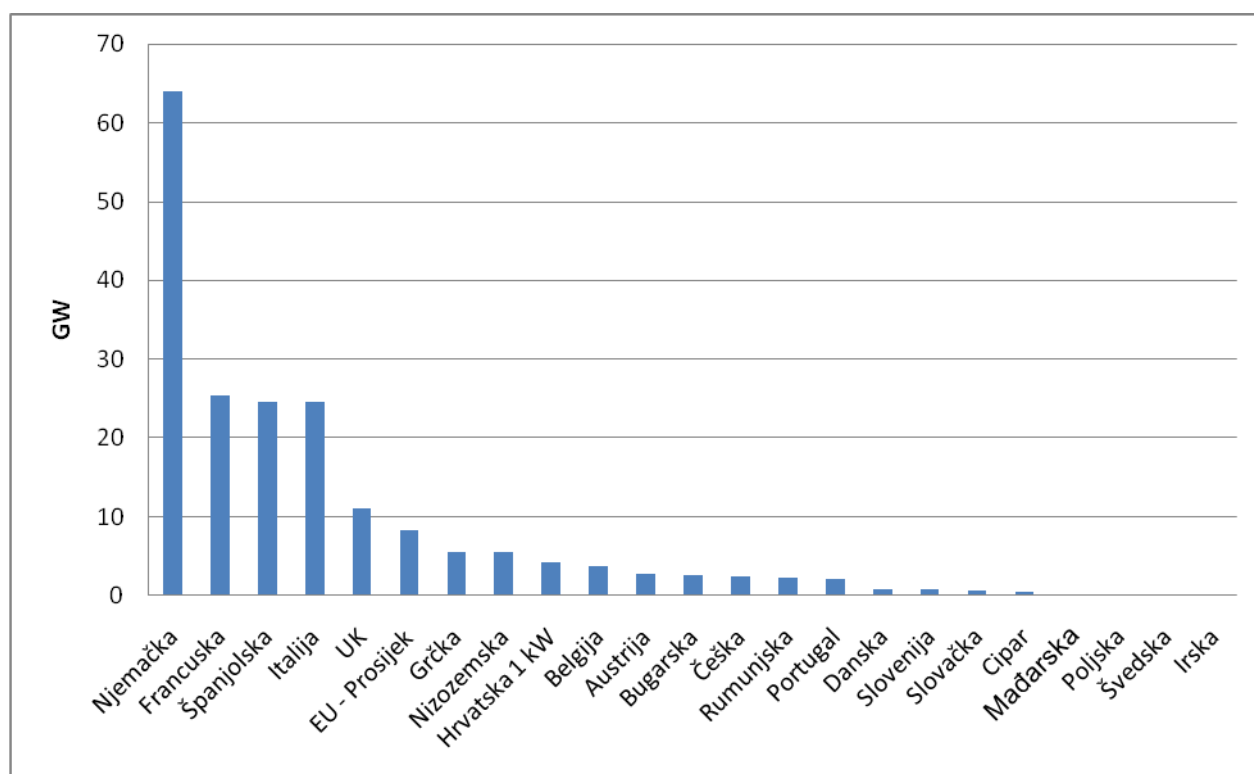


5.6.2.2. *Slučaj instalacije od 1 kW fotonaponskih modula po glavi stanovnika – SOL2*

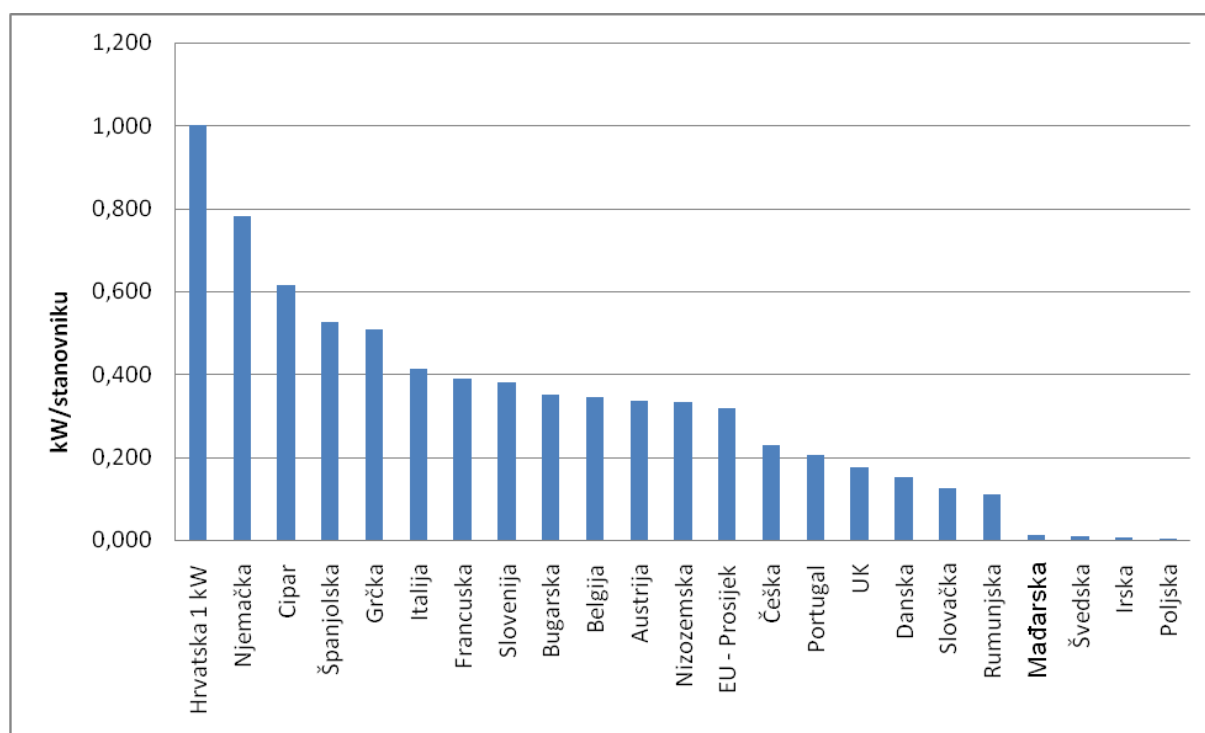
Kada bi se instalirao 1 kW fotonaponskih modula po glavi stanovnika do 2030. godine Republika Hrvatska bi imala ukupni instalirani kapacitet od 4,276 GW. Samim time, Hrvatska bi imala najviše instaliranih kapaciteta po glavi stanovnika unutar zemalja EU. Iz scenarija "SOL2" za 2030. godinu, prema energyPLANU-u, dobije se da, godišnja proizvodnja iz fotonaponskih sustava iznosi 6,5 TWh i samim time smanjenje emisija CO<sub>2</sub> u atmosferu su manje za 5,035 MtCO<sub>2</sub>.

**Tablica 23. Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava po zemaljama EU nakon SOL2 za 2030. godinu [31]**

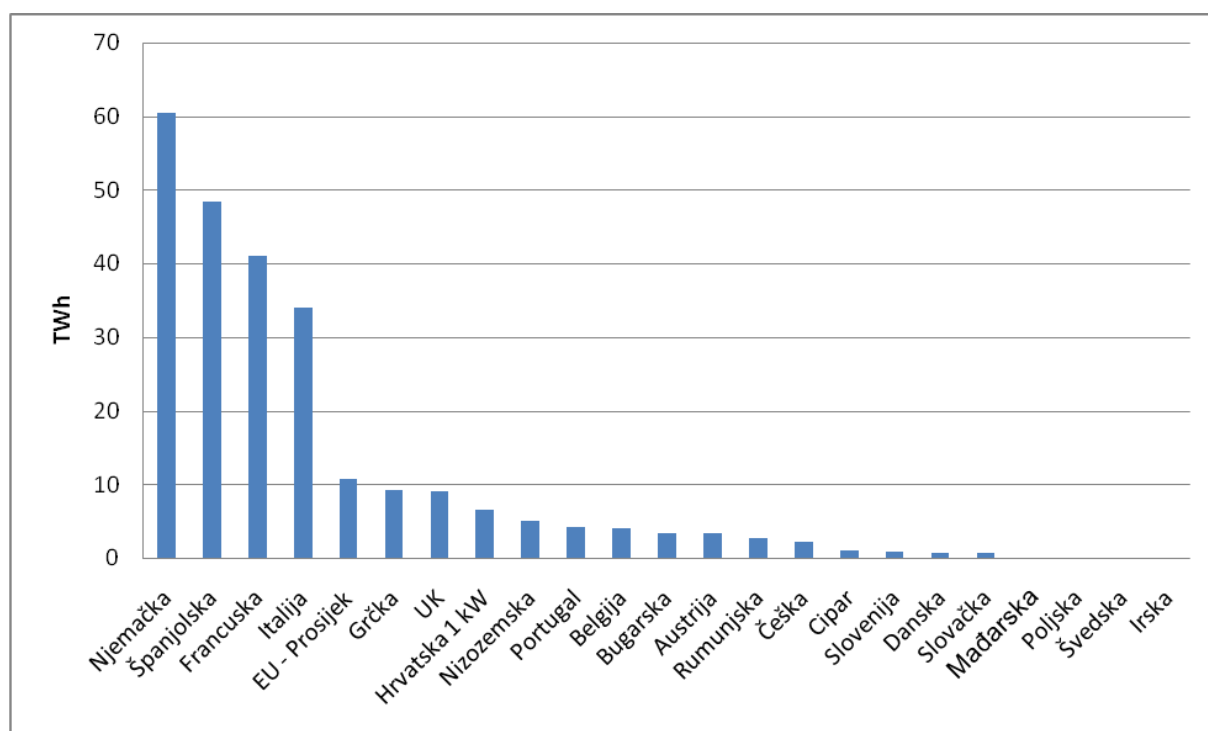
	2030. godina				
	Kapacitet [GW]	Broj stanovnika [-]	kW po glavi stanovnika [kW]	Proizvodnja el. en. godišnje [TWh]	Smanjenje emisija [MtCO <sub>2</sub> ]
Njemačka	63,959	81 844 000	0,781	60,513	46,878
Francuska	25,382	65 277 000	0,389	41,048	31,799
Španjolska	24,564	46 818 000	0,525	48,361	37,464
Italija	24,562	59 394 000	0,414	34,027	26,360
UK	11,043	63 495 000	0,174	8,985	6,960
<b>EU - Prosijek</b>	<b>8,369</b>	<b>22 402 591</b>	<b>0,280</b>	<b>10,529</b>	<b>8,157</b>
Grčka	5,616	11 086 000	0,507	9,252	7,167
Nizozemska	5,586	16 730 000	0,334	5,004	3,876
<b>Hrvatska 1 kW</b>	<b>4,276</b>	<b>4 276 000</b>	<b>1,000</b>	<b>6,500</b>	<b>5,035</b>
Belgija	3,818	11 095 000	0,344	4,013	3,109
Austrija	2,821	8 408 000	0,336	3,312	2,566
Bugarska	2,572	7 327 000	0,351	3,323	2,574
Češka	2,391	10 505 000	0,228	2,276	1,763
Rumunjska	2,223	20 096 000	0,111	2,77	2,146
Portugal	2,172	10 542 000	0,206	4,229	3,276
Danska	0,838	5 581 000	0,150	0,768	0,595
Slovenija	0,779	2 055 000	0,379	0,849	0,658
Slovačka	0,68	5 404 000	0,126	0,619	0,480
Cipar	0,529	862 000	0,614	0,979	0,758
Mađarska	0,106	9 932 000	0,011	0,097	0,075
Poljska	0,099	38 064 000	0,003	0,084	0,065
Švedska	0,088	9 483 000	0,009	0,075	0,058
Irska	0,019	4 583 000	0,004	0,016	0,012



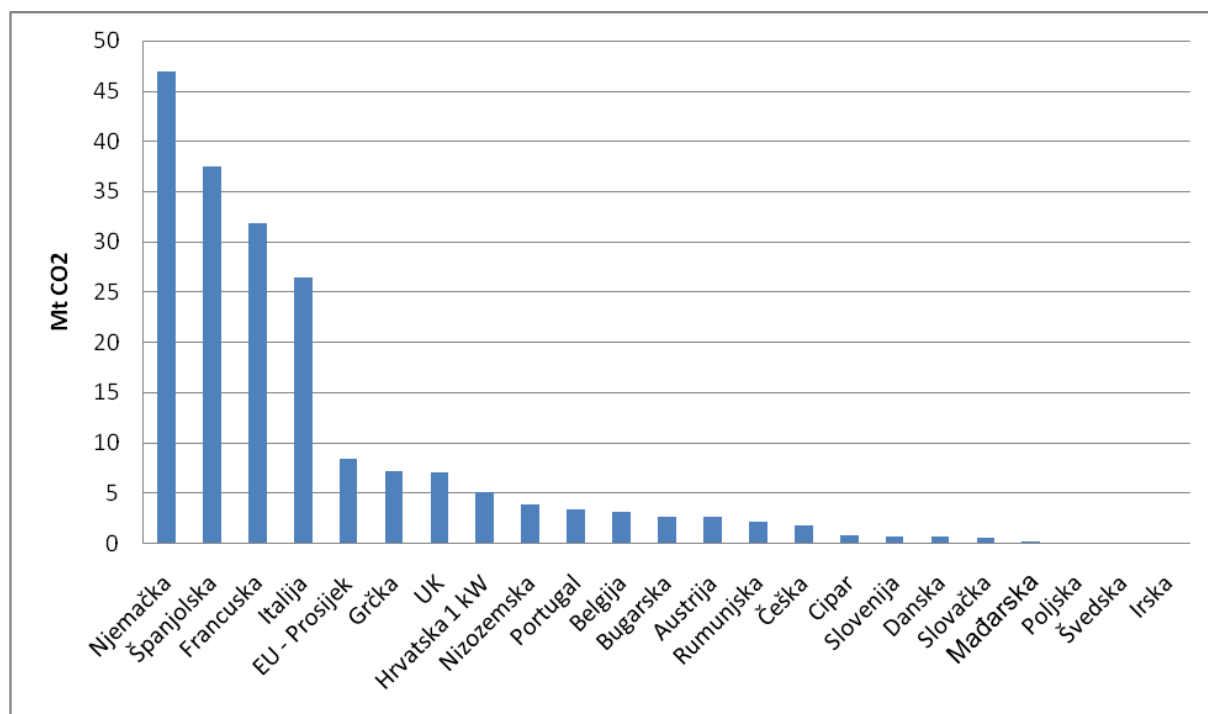
**Slika 55. Instalirani kapaciteti fotonaponskih sustava unutar država članica EU nakon SOL2 scenarija za 2030. godinu**



**Slika 56. Kapacitet fotonaponskih sustava instaliranih po glavi stanovnika unutar država članica EU nakon SOL2 scenarija za 2030. godinu**



**Slika 57. Godišnja proizvodnja električne energije iz fotonaponskih sustava unutar država članica EU nakon SOL2 scenarija za 2030. godinu**



**Slika 58. Smanjenje emisija CO<sub>2</sub> unutar država članica EU nakon SOL2 scenarija za 2030. godinu**

## 6. ZAKLJUČAK

Program Solarizacije Republike Hrvatske koji je izrađen u sklopu ovog diplomskog rada donosi pregled proizvodnje električne energije iz fotonaponskih sustava kao i proizvodnju toplinske energije iz solarnih toplinskih sustava.

Primjenom *f*-Chart metode, najviše toplinske energije dobije se u Splitsko-dalmatinskoj županiji (9,44 GJ/kućanstvu) dok se najmanje dobije u ličko-senjskoj županiji (7,22 GJ/kućanstvu). Iz ovih podataka se može vidjeti da se u primorskim krajevima uz iste instalirane kapacitete može prikupiti i do 30 % više toplinske energije.

Kada bi se na svaku obiteljsku kuću u Republici Hrvatskoj postavila 4 m<sup>2</sup> solarnih toplinskih kolektora i jedan spremnik topline od 300 L na godišnjoj razini bi se dobilo 3 725,71 TJ što bi zadovoljilo 73,83% potreba za PTV-om u obiteljskim kućama Republike Hrvatske.

U slučaju kada bi se u Republici Hrvatskoj instalirao 1 m<sup>2</sup> kolektora po glavi stanovnika Republika Hrvatska bi tada imala kapacitet kolektora ukupne površine 4 284 889 m<sup>2</sup>. I sa tim instaliranim kapacitetom Republika Hrvatska bi godišnje prikupila 2,57 TWh odnosno 9 252 TJ toplinske energije. Iz tog podatka se može zaključiti da kada bi Republika Hrvatska instalirala 1 m<sup>2</sup> kolektora po glavi stanovnika zadovoljila bi svoje potrebe za PTV-om u visini od 85,9%.

Primjenom PVGIS-a, najviše električne energije iz fotonaponskih sustava dobije u Šibensko-kninskoj županiji, gotovo 6 850 kWh po sustavu. Najmanje se dobije u Krapinsko-zagorskoj županiji, 5 360 kWh što je za 21.75% manje od istog sustava instaliranog u Šibensko-kninskoj županiji. Upravo iz ovih razloga se najviše potiče Solarizacija Republike Hrvatske u priobalnom području. Kada bi se na svakoj obiteljskoj kući instalirao fotonaponski sustav snage 5 kWp, godišnja proizvodnja električne energije na razini Republike Hrvatske iznosila bi 2,728 TWh.

Kada bi se u Republici Hrvatskoj instalirao 1 kW FN modula po glavi stanovnika ukupna godišnja proizvodnja električne energije bi iznosila 4,96 TWh. U kontinentalnoj Hrvatskoj bi se proizvodilo 3,16 TWh, odnosno 64%, a u Jadranskoj 1,8 TWh, odnosno 36% od ukupne proizvodnje iz FN-sustava.

Prema scenariju „SOL1“ Republika Hrvatska će imati godišnju proizvodnju toplinske energije u iznosu od 2,679 TWh i godišnju proizvodnju električne energije iz fotonaponskih sustava u iznosu od 1,04 TWh. Time se smanjila emisija CO<sub>2</sub> u atmosferu u iznosu od 1,737 MtCO<sub>2</sub> godišnje u odnosu kada bi se ta ista energija proizvodila u termoelektranama. Prema scenariju „SOL1“ Republika Hrvatska ne zadovoljava sve svoje potrebe za energijom unutar granica, a scenarij „SOL2“ izrađen je s ciljem da nema uvoza električne energije, odnosno da Republika Hrvatska sve svoje potrebe za električnom energijom zadovoljava unutar granica, odnosno cilj je bio eliminirati uvoz.

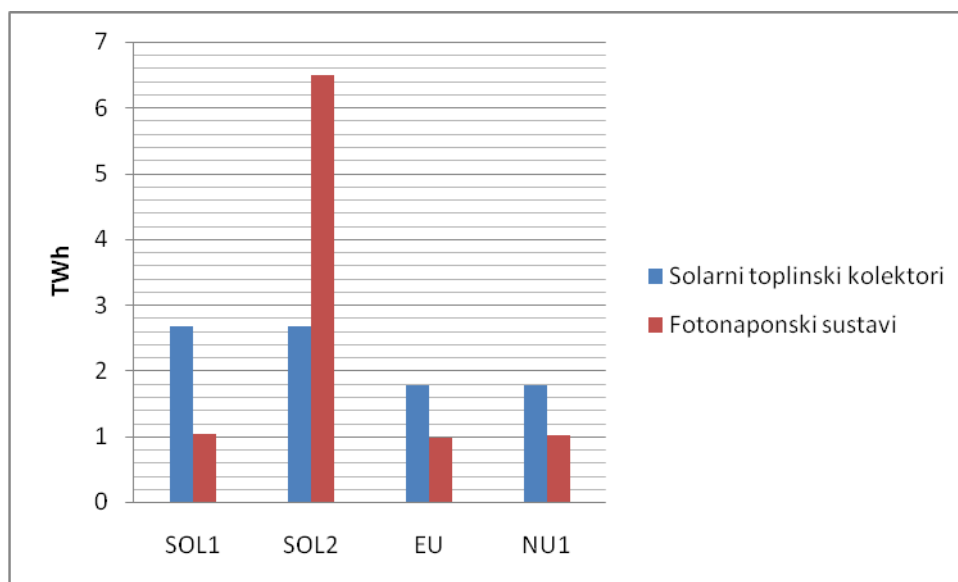
Prema scenariju „SOL2“ Republika Hrvatska ima godišnju proizvodnju toplinske energije jednaku onoj u „SOL1“ scenariju, u iznosu od 2,679 TWh i godišnju proizvodnju električne energije iz fotonaponskih sustava u iznosu od 6,5 TWh. Time bi se smanjile emisije CO<sub>2</sub> u atmosferu u iznosu od 5,966 MtCO<sub>2</sub> godišnje u odnosu kada bi se ta ista energija također proizvodila u termoelektranama.

Prema referentnom scenariju EU s pogledom na 2030. godinu, očekuje se proizvodnja toplinske energije iz solarnih toplinskih kolektora u iznosu od 1,767 TWh godišnje dok se u proračunatom scenariju „SOL1“ očekuje proizvodnja od 2,679 TWh što je dosta optimistično u odnosu na onaj scenarij EU. Godišnja proizvodnja električne energije iz fotonaponskih sustava prema scenariju EU iznosi 0,974 TWh što i je približno jednako onom u scenariju „SOL1“, u kojem proizvodnja iznosi 1,04 TWh. Također, prema bijeloj knjizi, scenarij „SOL1“ prati prijelazni „NU1“ scenarij. Ukupni instalirani kapacitet fotonaponskih sustava u „NU1“ scenariju iznosi 700 MW, dok u scenariju „SOL1“ iznosi 686 MW. Razlika je u udjelu solarnih toplinskih kolektora u sektoru grijanja i pripreme PTV-a.

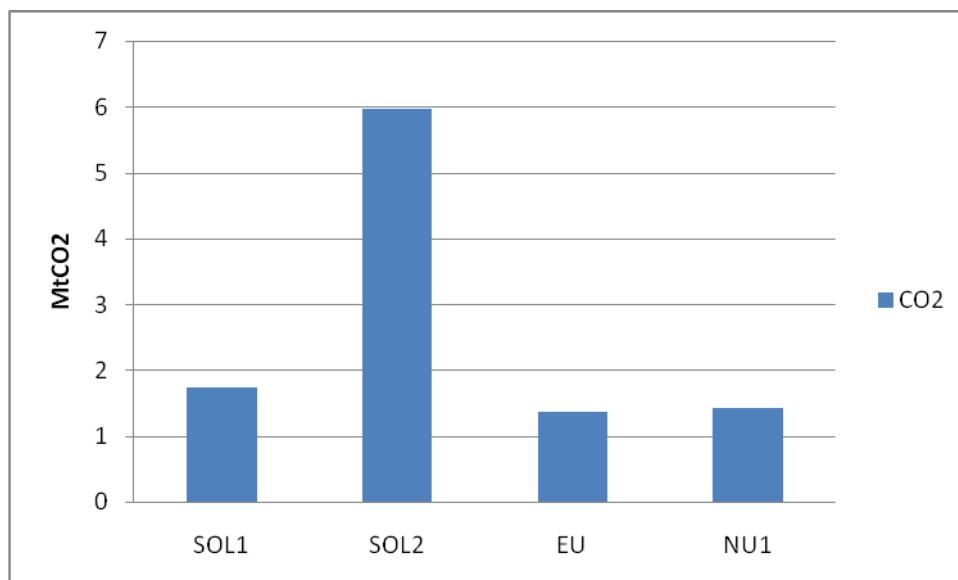
U „SOL2“ scenariju Republika Hrvatska ima viška električne energije danju, u zatvorenom sustavu to može predstavljati problem. No, zašto bi Republika Hrvatska išla do te mjere da mora sve svoje potrebe zadovoljavati unutar same države? Republika Hrvatska može na temelju scenarija „SOL2“ izvoziti i prodavati taj višak električne energije onim državama kojima ta ista energija nedostaje.

Republici Hrvatskoj je krajnje vrijeme da počne provoditi reforme i pokrene instaliranje novih kapaciteta bilo solarnih toplinskih kolektora, bilo fotonaponskih sustava. Iz analize scenarija „SOL1“ u ovom zadatku se može vidjeti da Hrvatska i ako počne provoditi ovakve planove do 2030. godine neće ostvariti znatni pomak u odnosu na druge članice zemalja EU koje također imaju i jače planove razvoja energetskeg sustava pomoću OIE. Dok, uzimajući u

obzir snažniji scenarij, „SOL2“, RH bi bila na prvom mjestu kao država EU u instaliranim kapacitetima fotonaponskih sustava po glavi stanovnika u iznosu od 1 kW po glavi stanovnika.



**Slika 59.** Usporedba u proizvodnji električne i toplinske energije iz Solarnih toplinskih sustava i fotonaponskih sustava u raznim mogućim scenarijima za 2030. godinu



**Slika 60.** Usporedba u smanjenju emisija CO<sub>2</sub> u atmosferu zbog proizvodnje električne i toplinske energije iz Solarnih toplinskih sustava i fotonaponskih sustava u raznim mogućim scenarijima za 2030. godinu

## DODATAK A

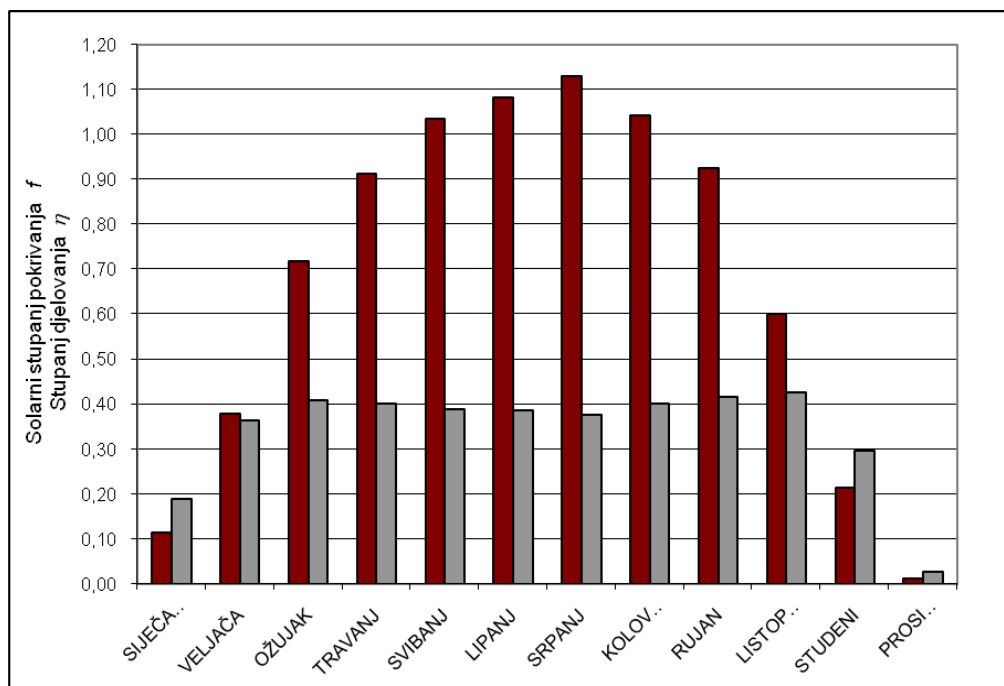
**Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart postavljenog na jednu obiteljsku kuću za gradove/nositelje županija RH.**

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart s godišnjim tijekom solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  za kolektore nagnute pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

## 1. Zagrebačka županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za Zagrebačku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Zagreb		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=45,49^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$			0,79	
$\lambda=16,2^\circ$		t.v., l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$			3,9	
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	-0,8	4,46	0,909	5,995	0,481	0,116	0,105	0,804	0,190
VELJAČA	28	1,9	7,6	0,821	5,707	0,819	0,378	0,310	0,510	0,365
OŽUJAK	31	5,9	12,85	0,909	5,280	1,385	0,720	0,654	0,255	0,410
TRAVANJ	30	10,6	16,67	0,879	4,778	1,797	0,913	0,803	0,076	0,401
SVIBANJ	31	15,3	19,51	0,909	4,277	2,104	1,035	0,941	-0,032	0,389
LIPANJ	30	18,5	20,56	0,879	3,936	2,217	1,083	0,953	-0,073	0,386
SRPANJ	31	20,1	21,96	0,909	3,765	2,368	1,129	1,026	-0,117	0,377
KOLOVOZ	31	19,3	19,04	0,909	3,850	2,053	1,042	0,947	-0,038	0,401
RUJAN	30	15,8	16,31	0,879	4,224	1,758	0,926	0,815	0,065	0,416
LISTOPAD	31	10,5	10,33	0,909	4,789	1,114	0,602	0,547	0,362	0,427
STUDENI	30	5,3	5,29	0,879	5,344	0,570	0,215	0,189	0,690	0,298
PROSINAC	31	0,9	3,28	0,909	5,813	0,354	0,012	0,011	0,898	0,027
Godina		10,3	157,86	10,698			0,682	7,300	3,398	0,380



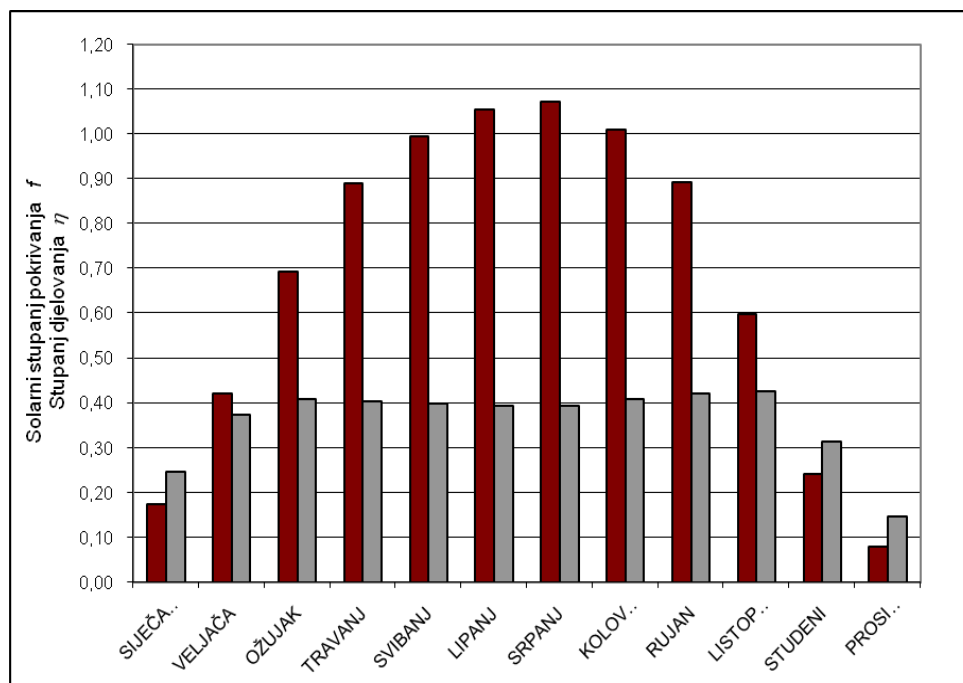
Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode



## 2. Krapinsko-zagorska županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za Krapinsko-zagorsku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Krapina		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=46,18^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=16,23^\circ$		t.v., l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	-1,3	5,18	0,909	6,048	0,558	0,175	0,159	0,750	0,247
VELJAČA	28	1,3	8,24	0,821	5,771	0,888	0,421	0,345	0,475	0,374
OŽUJAK	31	5,4	12,42	0,909	5,333	1,339	0,695	0,631	0,277	0,410
TRAVANJ	30	10,3	16,13	0,879	4,810	1,739	0,891	0,783	0,096	0,405
SVIBANJ	31	15,1	18,32	0,909	4,298	1,975	0,996	0,905	0,003	0,398
LIPANJ	30	18,3	19,62	0,879	3,957	2,115	1,055	0,928	-0,048	0,394
SRPANJ	31	19,8	19,98	0,909	3,797	2,154	1,074	0,976	-0,067	0,394
KOLOVOZ	31	18,9	18,14	0,909	3,893	1,956	1,010	0,918	-0,009	0,408
RUJAN	30	15,3	15,55	0,879	4,277	1,677	0,893	0,785	0,094	0,421
LISTOPAD	31	10,1	10,33	0,909	4,832	1,114	0,600	0,545	0,364	0,425
STUDENI	30	4,9	5,65	0,879	5,387	0,609	0,243	0,214	0,666	0,315
PROSINAC	31	0,5	4	0,909	5,856	0,431	0,081	0,074	0,835	0,148
Godina		9,9	153,56	10,698			0,679	7,262	3,436	0,389

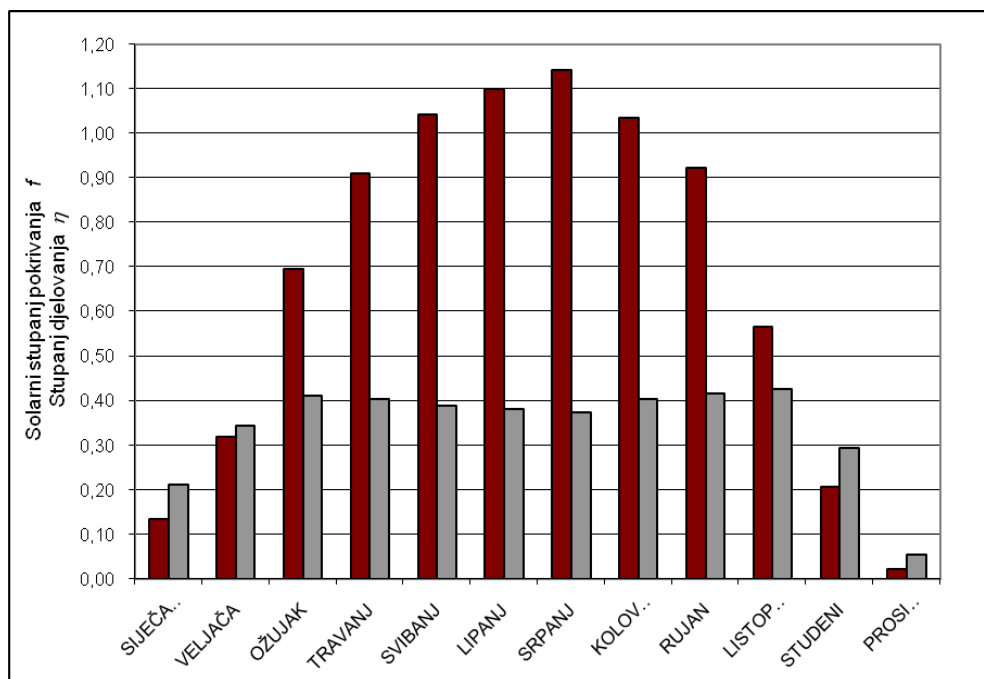


Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode

### 3. Sisačko-moslavačka županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za Sisačko-moslavačku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Sisak		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=45,30^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=16,22^\circ$		t.v., l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	-0,7	4,68	0,909	5,984	0,505	0,135	0,123	0,786	0,212
VELJAČA	28	1,9	6,8	0,821	5,707	0,733	0,319	0,262	0,559	0,344
OŽUJAK	31	6,3	12,38	0,909	5,237	1,335	0,697	0,633	0,275	0,413
TRAVANJ	30	11,1	16,56	0,879	4,725	1,785	0,912	0,802	0,078	0,403
SVIBANJ	31	15,8	19,66	0,909	4,224	2,120	1,043	0,947	-0,039	0,389
LIPANJ	30	19,1	21,1	0,879	3,872	2,275	1,101	0,968	-0,089	0,382
SRPANJ	31	20,8	22,36	0,909	3,690	2,411	1,143	1,038	-0,130	0,374
KOLOVOZ	31	19,8	18,76	0,909	3,797	2,023	1,036	0,941	-0,033	0,405
RUJAN	30	16,0	16,2	0,879	4,202	1,747	0,923	0,812	0,068	0,417
LISTOPAD	31	10,8	9,72	0,909	4,757	1,048	0,566	0,514	0,395	0,426
STUDENI	30	5,6	5,18	0,879	5,312	0,558	0,208	0,182	0,697	0,294
PROSINAC	31	1,0	3,13	0,909	5,803	0,337	0,023	0,021	0,888	0,054
Godina		10,6	156,53	10,698			0,677	7,244	3,454	0,380

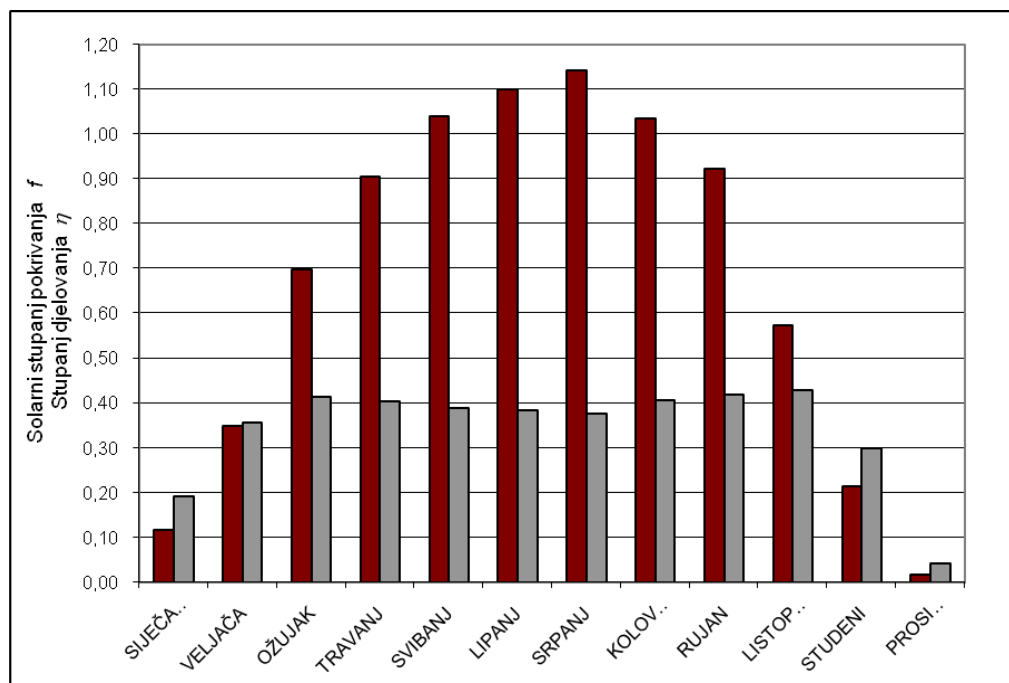


Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode

#### 4. Karlovačka županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za Karlovačku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Karlovac		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=45,30^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=15,33^\circ$		t.v.,l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	-0,6	4,46	0,909	5,973	0,481	0,117	0,106	0,803	0,191
VELJAČA	28	2,2	7,2	0,821	5,675	0,776	0,350	0,287	0,533	0,357
OŽUJAK	31	6,5	12,38	0,909	5,216	1,335	0,698	0,634	0,274	0,413
TRAVANJ	30	11,2	16,42	0,879	4,714	1,770	0,907	0,797	0,082	0,405
SVIBANJ	31	15,9	19,58	0,909	4,213	2,111	1,041	0,946	-0,037	0,389
LIPANJ	30	19,2	21,02	0,879	3,861	2,266	1,100	0,967	-0,088	0,383
SRPANJ	31	21,1	22,28	0,909	3,658	2,402	1,142	1,038	-0,129	0,376
KOLOVOZ	31	20,1	18,72	0,909	3,765	2,018	1,036	0,942	-0,033	0,406
RUJAN	30	16,4	16,13	0,879	4,160	1,739	0,922	0,811	0,068	0,419
LISTOPAD	31	11,1	9,83	0,909	4,725	1,060	0,574	0,522	0,387	0,428
STUDENI	30	5,6	5,26	0,879	5,312	0,567	0,214	0,188	0,691	0,298
PROSINAC	31	0,9	3,2	0,909	5,813	0,345	0,018	0,016	0,892	0,041
Godina		10,8	156,48	10,698			0,678	7,254	3,443	0,381

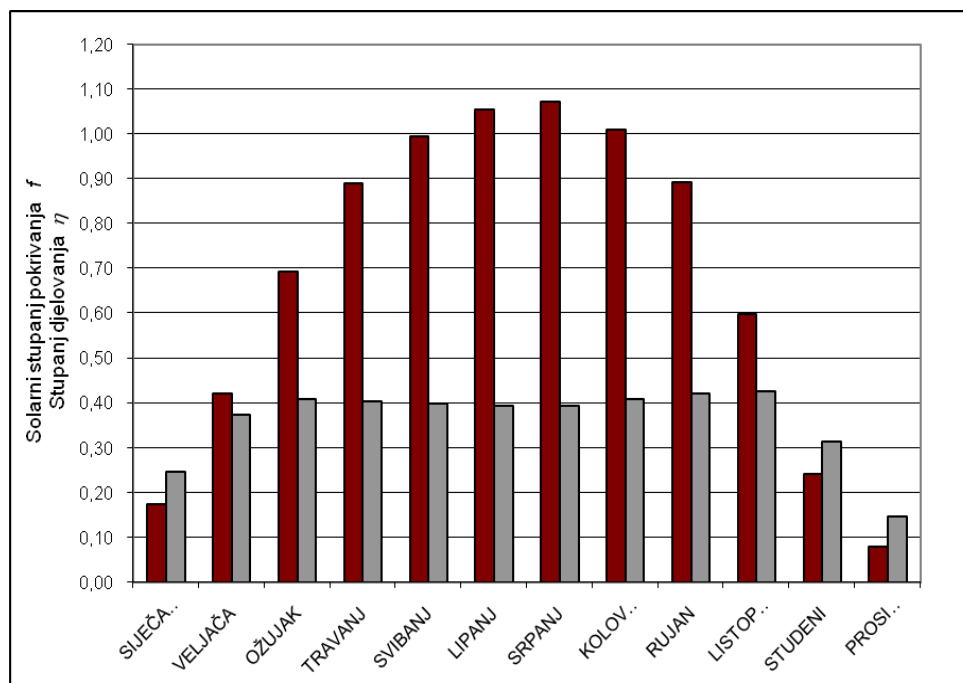


Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode

## 5. Varaždinska županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za  
Varaždinsku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Varaždin		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=46,18^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=16,23^\circ$		t.v., l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	-1,3	5,18	0,909	6,048	0,558	0,175	0,159	0,750	0,247
VELJAČA	28	1,3	8,24	0,821	5,771	0,888	0,421	0,345	0,475	0,374
OŽUJAK	31	5,4	12,42	0,909	5,333	1,339	0,695	0,631	0,277	0,410
TRAVANJ	30	10,3	16,13	0,879	4,810	1,739	0,891	0,783	0,096	0,405
SVIBANJ	31	15,1	18,32	0,909	4,298	1,975	0,996	0,905	0,003	0,398
LIPANJ	30	18,3	19,62	0,879	3,957	2,115	1,055	0,928	-0,048	0,394
SRPANJ	31	19,8	19,98	0,909	3,797	2,154	1,074	0,976	-0,067	0,394
KOLOVOZ	31	18,9	18,14	0,909	3,893	1,956	1,010	0,918	-0,009	0,408
RUJAN	30	15,3	15,55	0,879	4,277	1,677	0,893	0,785	0,094	0,421
LISTOPAD	31	10,1	10,33	0,909	4,832	1,114	0,600	0,545	0,364	0,425
STUDENI	30	4,9	5,65	0,879	5,387	0,609	0,243	0,214	0,666	0,315
PROSINAC	31	0,5	4	0,909	5,856	0,431	0,081	0,074	0,835	0,148
Godina		9,9	153,56	10,698			0,679	7,262	3,436	0,389

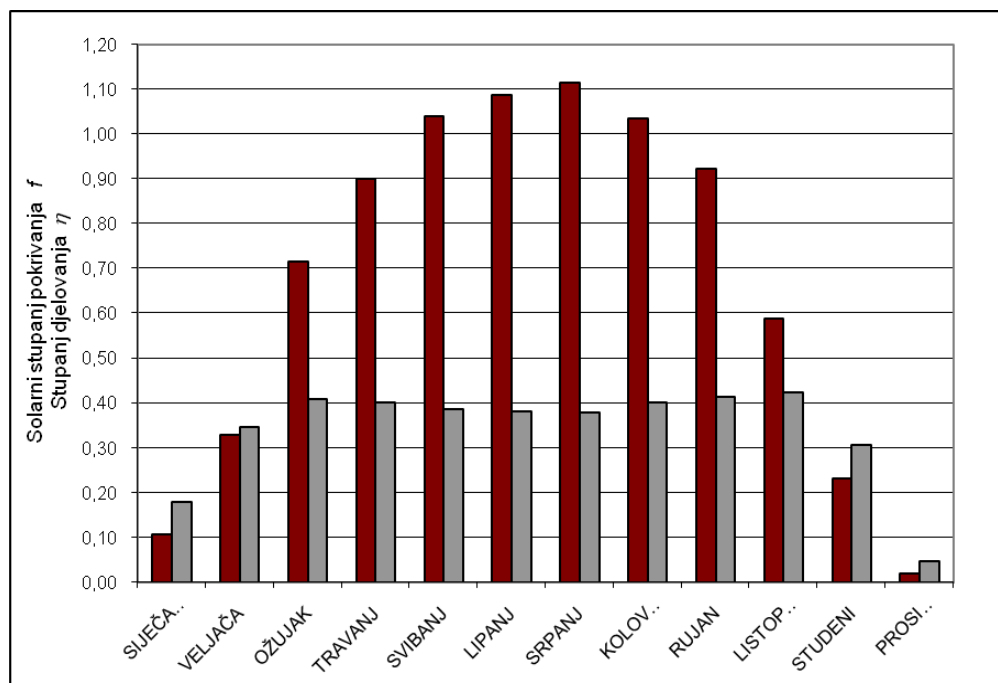


Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode

## 6. Koprivničko-križevačka županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za Koprivničko-križevačku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Križevci		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=46,2^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=16,33^\circ$		t.v., l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	-1,3	4,39	0,909	6,048	0,473	0,107	0,097	0,811	0,179
VELJAČA	28	1,3	6,98	0,821	5,771	0,753	0,330	0,271	0,550	0,346
OŽUJAK	31	5,5	12,82	0,909	5,323	1,382	0,716	0,651	0,258	0,409
TRAVANJ	30	10,2	16,42	0,879	4,821	1,770	0,902	0,793	0,087	0,402
SVIBANJ	31	14,8	19,77	0,909	4,330	2,132	1,041	0,946	-0,037	0,386
LIPANJ	30	18,0	20,81	0,879	3,989	2,244	1,088	0,956	-0,077	0,383
SRPANJ	31	19,6	21,53	0,909	3,818	2,321	1,115	1,013	-0,105	0,380
KOLOVOZ	31	18,7	18,9	0,909	3,914	2,038	1,035	0,940	-0,031	0,401
RUJAN	30	15,1	16,34	0,879	4,298	1,762	0,924	0,812	0,067	0,414
LISTOPAD	31	9,9	10,15	0,909	4,853	1,094	0,588	0,534	0,375	0,424
STUDENI	30	4,8	5,51	0,879	5,397	0,594	0,231	0,203	0,676	0,307
PROSINAC	31	0,3	3,2	0,909	5,877	0,345	0,021	0,019	0,889	0,048
Godina		9,7	156,82	10,698			0,676	7,235	3,463	0,379

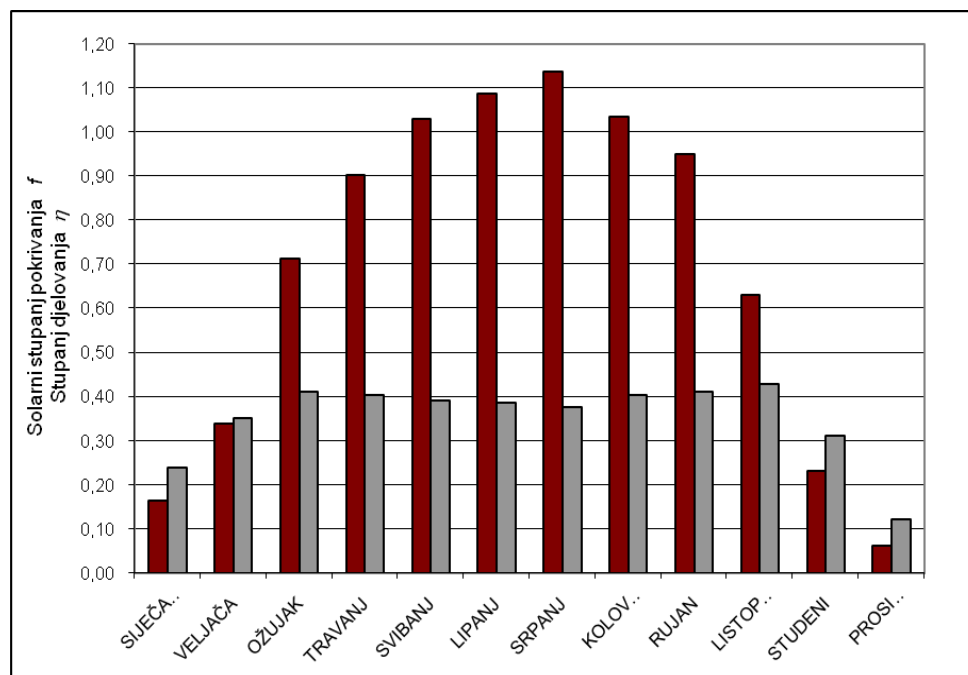


Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode

## 7. Bjelovarsko-bilogorska županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za Bjelovarsko-bilogorsku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Bjelovar		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=45,36^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=17,14^\circ$		t.v., l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	-0,4	5,00	0,909	5,952	0,539	0,164	0,149	0,760	0,240
VELJAČA	28	2,1	7,06	0,821	5,685	0,761	0,339	0,279	0,542	0,352
OŽUJAK	31	6,2	12,71	0,909	5,248	1,370	0,714	0,649	0,260	0,412
TRAVANJ	30	11,0	16,38	0,879	4,736	1,766	0,904	0,795	0,084	0,404
SVIBANJ	31	15,7	19,3	0,909	4,234	2,081	1,031	0,937	-0,028	0,391
LIPANJ	30	18,9	20,66	0,879	3,893	2,227	1,088	0,957	-0,078	0,386
SRPANJ	31	20,6	22,18	0,909	3,712	2,391	1,137	1,033	-0,125	0,376
KOLOVOZ	31	19,7	18,76	0,909	3,808	2,023	1,035	0,941	-0,032	0,404
RUJAN	30	16,1	16,88	0,879	4,192	1,820	0,950	0,835	0,044	0,412
LISTOPAD	31	10,9	10,8	0,909	4,746	1,164	0,632	0,574	0,334	0,429
STUDENI	30	5,8	5,47	0,879	5,291	0,590	0,233	0,204	0,675	0,312
PROSINAC	31	1,4	3,74	0,909	5,760	0,403	0,062	0,056	0,852	0,121
Godina		10,7	158,94	10,698			0,693	7,409	3,289	0,383

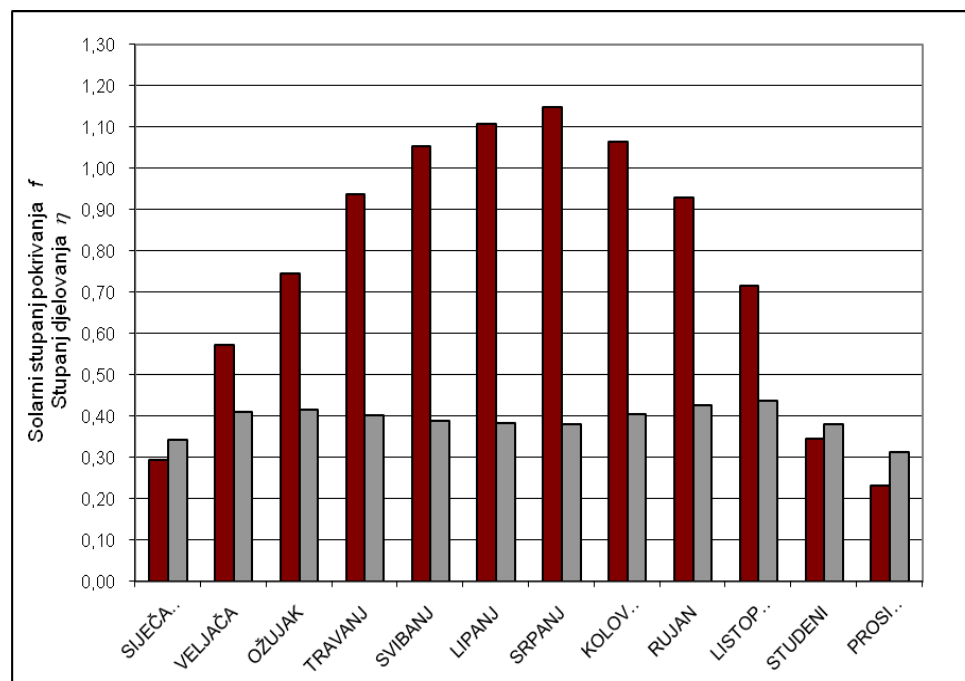


Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode

## 8. Primorsko-goranska županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za Primorsko-goransku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Rijeka		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=45,20^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=14,27^\circ$		t.v., l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	5,3	6,26	0,909	5,344	0,675	0,294	0,267	0,642	0,344
VELJAČA	28	6,1	10,22	0,821	5,259	1,102	0,573	0,470	0,350	0,411
OŽUJAK	31	8,5	13,1	0,909	5,002	1,412	0,745	0,677	0,232	0,417
TRAVANJ	30	12,2	17,1	0,879	4,608	1,844	0,938	0,825	0,055	0,402
SVIBANJ	31	16,6	19,87	0,909	4,138	2,142	1,053	0,957	-0,048	0,388
LIPANJ	30	20,1	21,1	0,879	3,765	2,275	1,107	0,973	-0,094	0,384
SRPANJ	31	22,8	22,1	0,909	3,477	2,383	1,147	1,043	-0,134	0,380
KOLOVOZ	31	22,3	19,22	0,909	3,530	2,072	1,065	0,967	-0,059	0,406
RUJAN	30	18,9	15,98	0,879	3,893	1,723	0,930	0,818	0,062	0,426
LISTOPAD	31	14,4	11,95	0,909	4,373	1,288	0,715	0,650	0,259	0,439
STUDENI	30	9,8	6,66	0,879	4,864	0,718	0,347	0,305	0,574	0,382
PROSINAC	31	6,5	5,44	0,909	5,216	0,587	0,234	0,212	0,696	0,315
Godina		13,6	169	10,698			0,763	8,163	2,535	0,397



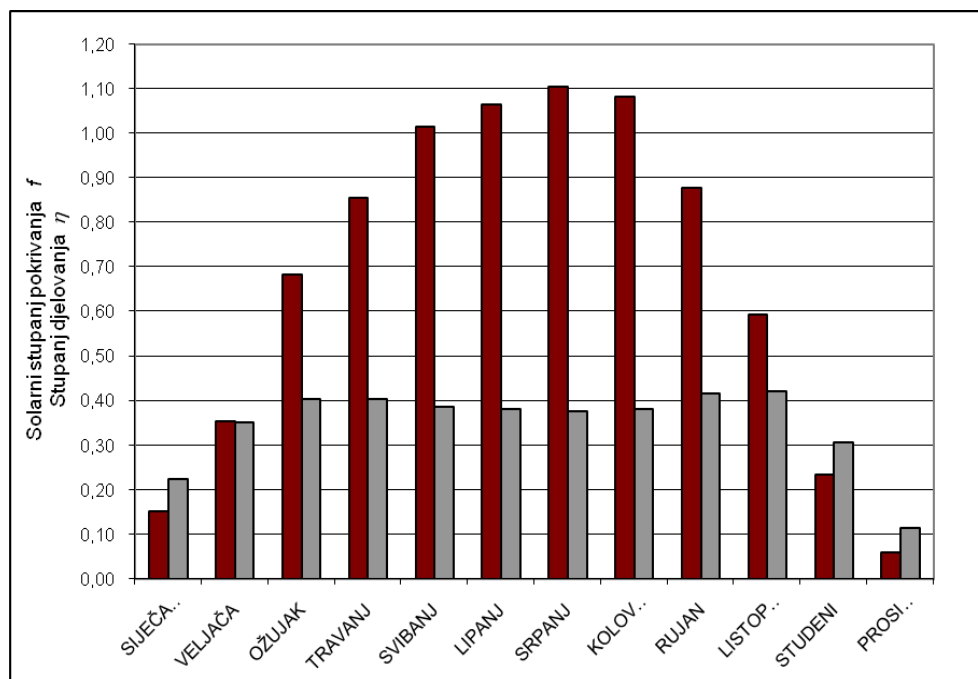
Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode

## 9. Ličko-senjska županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za

Ličko-senjsku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Gospić		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=44,33^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=15,22^\circ$		t.v.,l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	-1,7	4,93	0,909	6,091	0,532	0,152	0,138	0,771	0,226
VELJAČA	28	0,2	7,38	0,821	5,888	0,796	0,354	0,291	0,530	0,352
OŽUJAK	31	3,6	12,35	0,909	5,525	1,332	0,682	0,620	0,289	0,405
TRAVANJ	30	8,1	15,55	0,879	5,045	1,677	0,856	0,752	0,127	0,403
SVIBANJ	31	12,8	19,26	0,909	4,544	2,077	1,015	0,922	-0,013	0,386
LIPANJ	30	16,0	20,38	0,879	4,202	2,197	1,065	0,936	-0,057	0,383
SRPANJ	31	18,1	21,46	0,909	3,978	2,314	1,105	1,004	-0,096	0,377
KOLOVOZ	31	17,3	20,77	0,909	4,064	2,239	1,083	0,984	-0,075	0,382
RUJAN	30	13,6	15,44	0,879	4,458	1,665	0,879	0,773	0,106	0,417
LISTOPAD	31	9,0	10,33	0,909	4,949	1,114	0,594	0,540	0,369	0,422
STUDENI	30	4,2	5,58	0,879	5,461	0,602	0,234	0,206	0,674	0,307
PROSINAC	31	-0,5	3,82	0,909	5,963	0,412	0,060	0,055	0,854	0,115
Godina		8,4	157,25	10,698			0,675	7,220	3,477	0,377



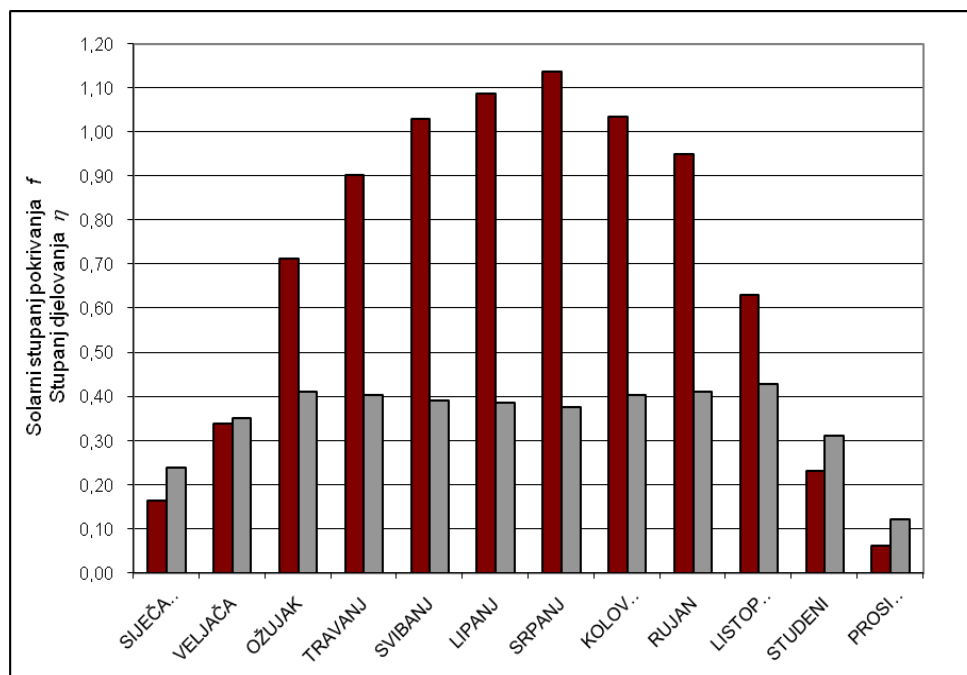
Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode



## 10. Virovitičko-podravska županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za Virovitičko-podravsku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Virovitica		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=45,36^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=17,14^\circ$		t.v., l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	-0,4	5,00	0,909	5,952	0,539	0,164	0,149	0,760	0,240
VELJAČA	28	2,1	7,06	0,821	5,685	0,761	0,339	0,279	0,542	0,352
OŽUJAK	31	6,2	12,71	0,909	5,248	1,370	0,714	0,649	0,260	0,412
TRAVANJ	30	11,0	16,38	0,879	4,736	1,766	0,904	0,795	0,084	0,404
SVIBANJ	31	15,7	19,3	0,909	4,234	2,081	1,031	0,937	-0,028	0,391
LIPANJ	30	18,9	20,66	0,879	3,893	2,227	1,088	0,957	-0,078	0,386
SRPANJ	31	20,6	22,18	0,909	3,712	2,391	1,137	1,033	-0,125	0,376
KOLOVOZ	31	19,7	18,76	0,909	3,808	2,023	1,035	0,941	-0,032	0,404
RUJAN	30	16,1	16,88	0,879	4,192	1,820	0,950	0,835	0,044	0,412
LISTOPAD	31	10,9	10,8	0,909	4,746	1,164	0,632	0,574	0,334	0,429
STUDENI	30	5,8	5,47	0,879	5,291	0,590	0,233	0,204	0,675	0,312
PROSINAC	31	1,4	3,74	0,909	5,760	0,403	0,062	0,056	0,852	0,121
Godina		10,7	158,94	10,698			0,693	7,409	3,289	0,383



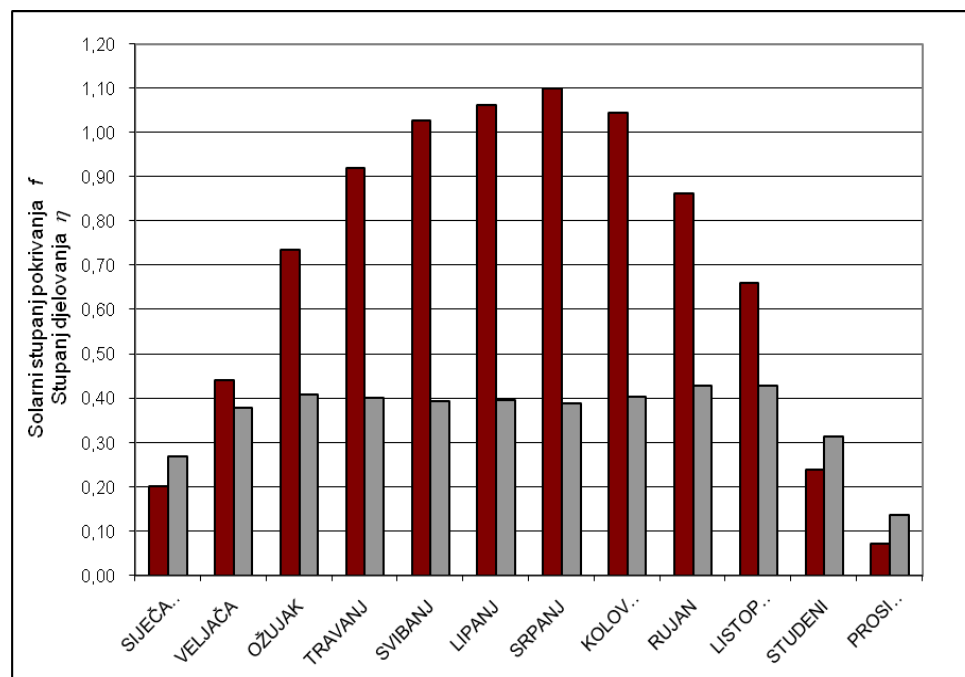
Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode

## 11. Požeško-slavonska županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za

Požeško-slavonsku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Požega		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=45,36^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=17,14^\circ$		t.v.,l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	-1,2	5,51	0,909	6,037	0,594	0,203	0,184	0,725	0,269
VELJAČA	28	1,5	8,53	0,821	5,749	0,920	0,442	0,362	0,458	0,379
OŽUJAK	31	6,0	13,18	0,909	5,269	1,421	0,737	0,669	0,239	0,410
TRAVANJ	30	11,3	16,74	0,879	4,704	1,805	0,920	0,809	0,071	0,403
SVIBANJ	31	16,5	19,04	0,909	4,149	2,053	1,027	0,933	-0,025	0,395
LIPANJ	30	19,5	19,66	0,879	3,829	2,120	1,063	0,934	-0,055	0,396
SRPANJ	31	21,0	20,7	0,909	3,669	2,232	1,101	1,000	-0,092	0,390
KOLOVOZ	31	20,3	18,97	0,909	3,744	2,045	1,046	0,950	-0,041	0,404
RUJAN	30	16,6	14,69	0,879	4,138	1,584	0,862	0,758	0,121	0,430
LISTOPAD	31	11,2	11,27	0,909	4,714	1,215	0,661	0,600	0,308	0,430
STUDENI	30	5,4	5,58	0,879	5,333	0,602	0,240	0,211	0,669	0,315
PROSINAC	31	0,9	3,89	0,909	5,813	0,419	0,073	0,066	0,842	0,138
Godina		10,8	157,76	10,698			0,699	7,478	3,220	0,390

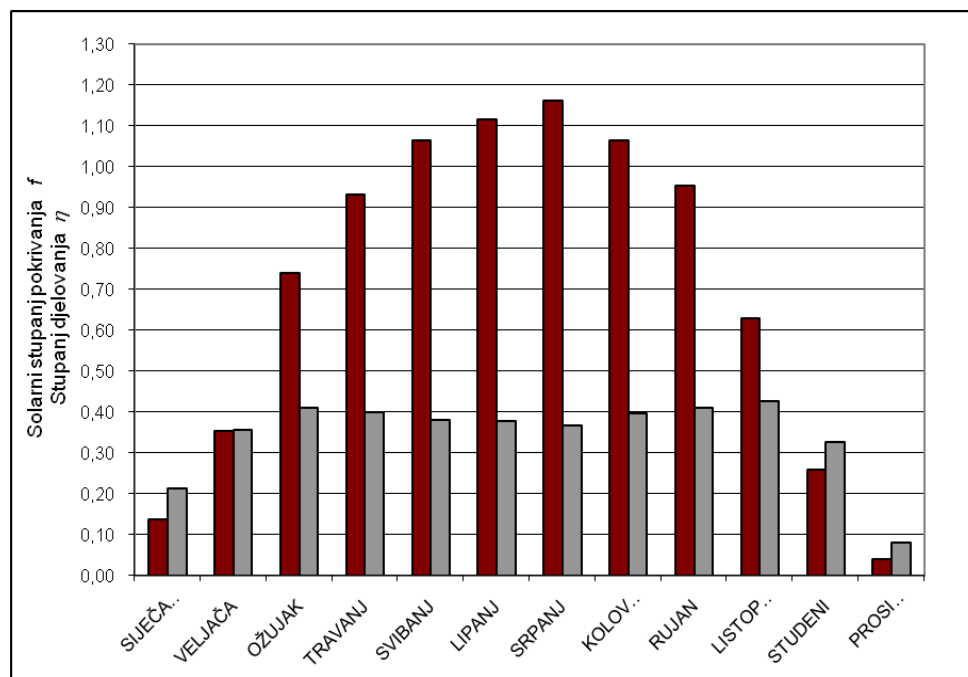


Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode

## 12. Brodsko-posavska županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za Brodsko-posavsku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Slav. Brod		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=45,10^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=18,10^\circ$		t.v.,l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	-1,1	4,72	0,909	6,027	0,509	0,137	0,124	0,784	0,212
VELJAČA	28	1,7	7,27	0,821	5,728	0,784	0,353	0,290	0,531	0,356
OŽUJAK	31	6,1	13,25	0,909	5,259	1,429	0,741	0,673	0,236	0,410
TRAVANJ	30	11,1	17,1	0,879	4,725	1,844	0,932	0,820	0,060	0,399
SVIBANJ	31	15,8	20,45	0,909	4,224	2,205	1,066	0,968	-0,060	0,382
LIPANJ	30	19,0	21,67	0,879	3,882	2,336	1,116	0,981	-0,102	0,377
SRPANJ	31	20,6	23,22	0,909	3,712	2,504	1,161	1,055	-0,147	0,367
KOLOVOZ	31	19,9	19,62	0,909	3,786	2,115	1,064	0,966	-0,058	0,397
RUJAN	30	16,1	16,99	0,879	4,192	1,832	0,954	0,839	0,040	0,411
LISTOPAD	31	10,7	10,76	0,909	4,768	1,160	0,629	0,571	0,337	0,428
STUDENI	30	5,4	5,83	0,879	5,333	0,629	0,260	0,229	0,651	0,327
PROSINAC	31	0,7	3,53	0,909	5,835	0,381	0,039	0,036	0,873	0,082
Godina		10,5	164,41	10,698			0,706	7,552	3,146	0,378

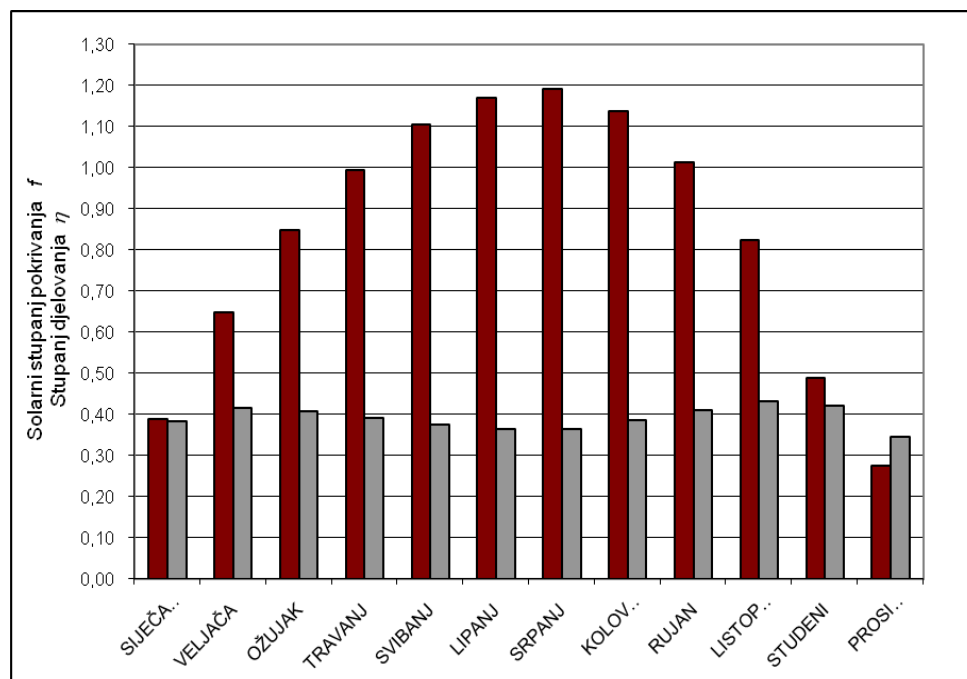


Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode

### 13. Zadarska županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za  
Zadarsku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Zadar		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=44,8^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=15,13^\circ$		t.v., l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	6,7	7,45	0,909	5,195	0,803	0,391	0,355	0,554	0,384
VELJAČA	28	7,4	11,41	0,821	5,120	1,230	0,650	0,533	0,288	0,417
OŽUJAK	31	9,4	15,23	0,909	4,906	1,642	0,849	0,771	0,137	0,408
TRAVANJ	30	12,9	18,65	0,879	4,533	2,011	0,996	0,875	0,004	0,391
SVIBANJ	31	17,2	21,6	0,909	4,074	2,329	1,104	1,003	-0,095	0,375
LIPANJ	30	21,0	23,58	0,879	3,669	2,542	1,172	1,030	-0,151	0,364
SRPANJ	31	23,6	23,87	0,909	3,391	2,574	1,192	1,083	-0,175	0,366
KOLOVOZ	31	23,1	21,64	0,909	3,445	2,333	1,138	1,034	-0,125	0,385
RUJAN	30	19,8	18,07	0,879	3,797	1,948	1,013	0,891	-0,011	0,411
LISTOPAD	31	15,8	13,97	0,909	4,224	1,506	0,825	0,750	0,159	0,433
STUDENI	30	11,5	8,5	0,879	4,682	0,916	0,489	0,430	0,449	0,421
PROSINAC	31	8,1	5,87	0,909	5,045	0,633	0,276	0,251	0,657	0,345
Godina		14,7	189,84	10,698			0,842	9,006	1,692	0,390

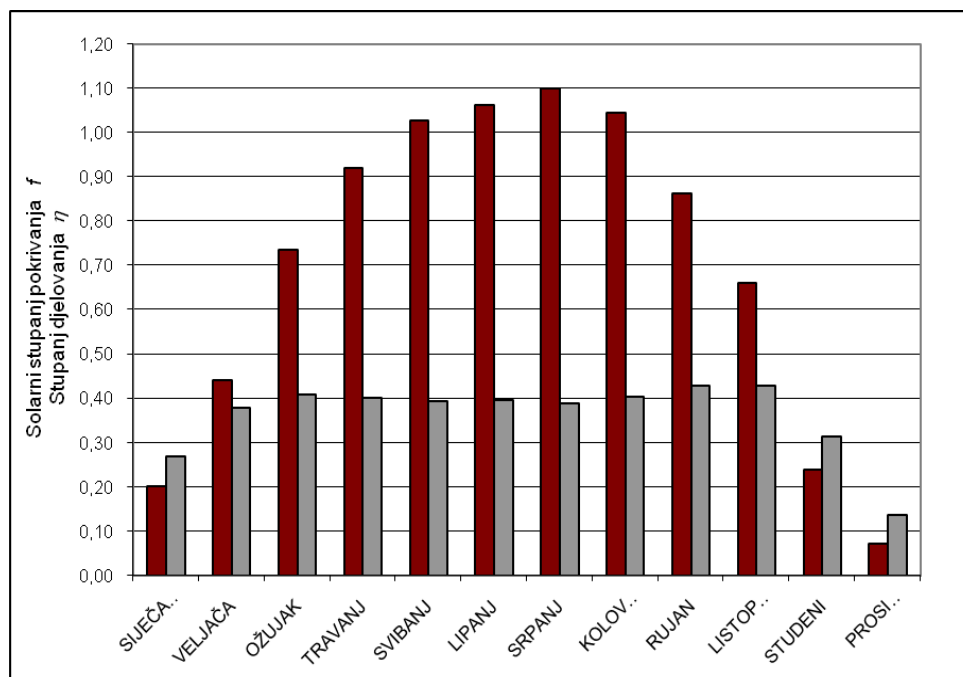


Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode

## 14. Osiječko-baranjska županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za  
Osiječko-baranjsku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Osijek		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=45,32^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=18,38^\circ$		t.v., l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	-1,2	5,51	0,909	6,037	0,594	0,203	0,184	0,725	0,269
VELJAČA	28	1,5	8,53	0,821	5,749	0,920	0,442	0,362	0,458	0,379
OŽUJAK	31	6,0	13,18	0,909	5,269	1,421	0,737	0,669	0,239	0,410
TRAVANJ	30	11,3	16,74	0,879	4,704	1,805	0,920	0,809	0,071	0,403
SVIBANJ	31	16,5	19,04	0,909	4,149	2,053	1,027	0,933	-0,025	0,395
LIPANJ	30	19,5	19,66	0,879	3,829	2,120	1,063	0,934	-0,055	0,396
SRPANJ	31	21,0	20,7	0,909	3,669	2,232	1,101	1,000	-0,092	0,390
KOLOVOZ	31	20,3	18,97	0,909	3,744	2,045	1,046	0,950	-0,041	0,404
RUJAN	30	16,6	14,69	0,879	4,138	1,584	0,862	0,758	0,121	0,430
LISTOPAD	31	11,2	11,27	0,909	4,714	1,215	0,661	0,600	0,308	0,430
STUDENI	30	5,4	5,58	0,879	5,333	0,602	0,240	0,211	0,669	0,315
PROSINAC	31	0,9	3,89	0,909	5,813	0,419	0,073	0,066	0,842	0,138
Godina		10,8	157,76	10,698			0,699	7,478	3,220	0,390



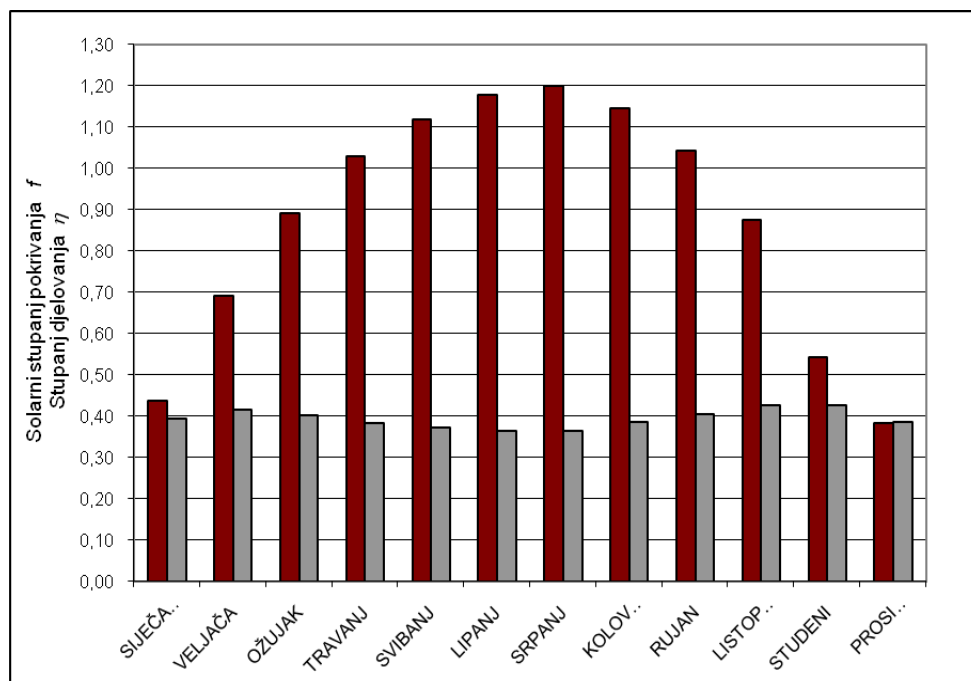
Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode

### 15. Šibensko-kninska županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za

Šibensko-kninsku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Šibenik		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=43,44^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=15,55^\circ$		t.v., l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	6,6	8,10	0,909	5,205	0,873	0,437	0,397	0,512	0,395
VELJAČA	28	7,5	12,17	0,821	5,109	1,312	0,692	0,568	0,253	0,417
OŽUJAK	31	9,9	16,24	0,909	4,853	1,751	0,893	0,811	0,097	0,403
TRAVANJ	30	13,4	19,66	0,879	4,480	2,120	1,030	0,906	-0,026	0,384
SVIBANJ	31	18,0	22	0,909	3,989	2,372	1,119	1,016	-0,108	0,373
LIPANJ	30	21,6	23,69	0,879	3,605	2,554	1,177	1,035	-0,156	0,364
SRPANJ	31	24,5	24,05	0,909	3,295	2,593	1,201	1,091	-0,183	0,366
KOLOVOZ	31	24,0	21,82	0,909	3,349	2,353	1,147	1,042	-0,134	0,385
RUJAN	30	20,5	18,9	0,879	3,722	2,038	1,044	0,918	-0,039	0,405
LISTOPAD	31	16,2	15,05	0,909	4,181	1,623	0,876	0,796	0,113	0,427
STUDENI	30	11,6	9,29	0,879	4,672	1,002	0,542	0,477	0,403	0,428
PROSINAC	31	7,9	7,27	0,909	5,067	0,784	0,383	0,348	0,560	0,386
Godina		15,1	198,24	10,698			0,879	9,406	1,292	0,390

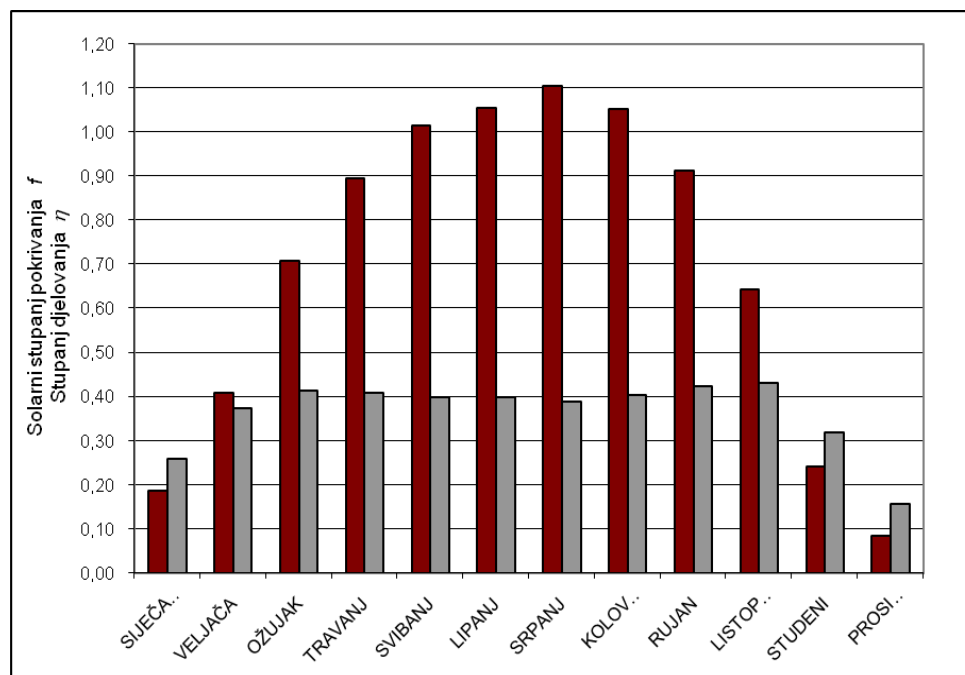


Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode

## 16. Vukovarsko-srijemska županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za Vukovarsko-srijemsku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Vukovar		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=45,24^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=18,58^\circ$		t.v., l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	-0,7	5,29	0,909	5,984	0,570	0,187	0,170	0,739	0,259
VELJAČA	28	2,1	8,03	0,821	5,685	0,866	0,410	0,336	0,484	0,374
OŽUJAK	31	6,6	12,56	0,909	5,205	1,354	0,708	0,643	0,265	0,413
TRAVANJ	30	11,7	16,06	0,879	4,661	1,732	0,895	0,787	0,092	0,408
SVIBANJ	31	16,8	18,65	0,909	4,117	2,011	1,016	0,923	-0,015	0,399
LIPANJ	30	19,6	19,4	0,879	3,818	2,092	1,055	0,928	-0,049	0,399
SRPANJ	31	21,2	20,84	0,909	3,648	2,247	1,106	1,005	-0,096	0,389
KOLOVOZ	31	20,8	19,08	0,909	3,690	2,057	1,052	0,956	-0,047	0,404
RUJAN	30	17,1	15,8	0,879	4,085	1,704	0,913	0,803	0,077	0,423
LISTOPAD	31	11,8	10,94	0,909	4,650	1,180	0,645	0,586	0,323	0,432
STUDENI	30	6,1	5,58	0,879	5,259	0,602	0,243	0,214	0,666	0,319
PROSINAC	31	1,4	4	0,909	5,760	0,431	0,085	0,077	0,831	0,156
Godina		11,2	156,23	10,698			0,694	7,427	3,271	0,391

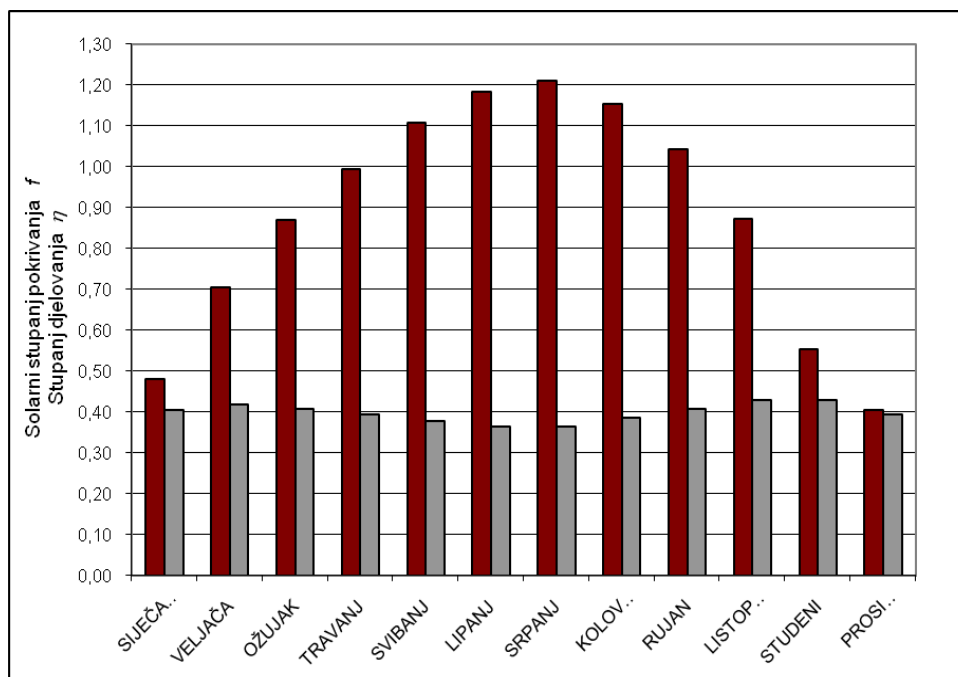


Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode

## 17. Splitsko-dalmatinska županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za Splitsko-dalmatinsku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Split		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=43,31^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=16,26^\circ$		t.v., l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	7,6	8,68	0,909	5,099	0,936	0,481	0,437	0,471	0,406
VELJAČA	28	8,2	12,35	0,821	5,034	1,332	0,705	0,578	0,242	0,418
OŽUJAK	31	10,5	15,62	0,909	4,789	1,684	0,871	0,791	0,117	0,408
TRAVANJ	30	13,9	18,5	0,879	4,426	1,995	0,996	0,876	0,004	0,394
SVIBANJ	31	18,7	21,42	0,909	3,914	2,309	1,108	1,006	-0,098	0,379
LIPANJ	30	22,5	23,8	0,879	3,509	2,566	1,185	1,042	-0,162	0,365
SRPANJ	31	25,4	24,23	0,909	3,199	2,612	1,210	1,099	-0,191	0,366
KOLOVOZ	31	24,9	21,92	0,909	3,253	2,363	1,155	1,049	-0,141	0,386
RUJAN	30	21,4	18,68	0,879	3,626	2,014	1,042	0,916	-0,037	0,409
LISTOPAD	31	16,9	14,9	0,909	4,106	1,606	0,873	0,794	0,115	0,429
STUDENI	30	12,3	9,4	0,879	4,597	1,013	0,553	0,486	0,393	0,431
PROSINAC	31	8,9	7,49	0,909	4,960	0,808	0,404	0,367	0,541	0,396
Godina		15,9	196,99	10,698			0,883	9,443	1,255	0,394



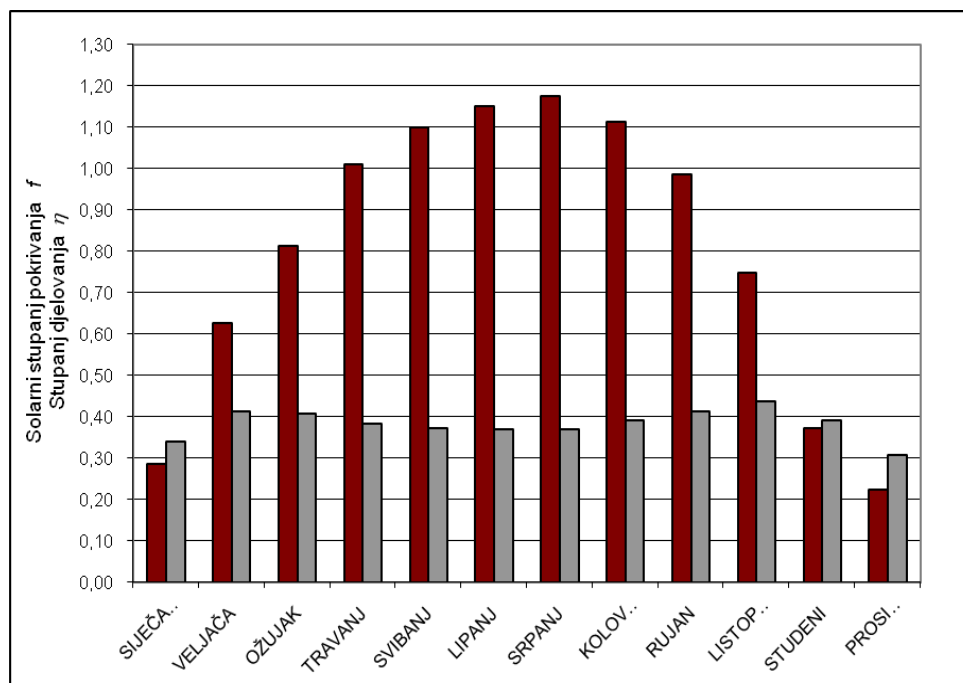
Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode



## 18. Istarska županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za Istarsku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Pula		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=44,52^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=13,51^\circ$		t.v., l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	5,3	6,16	0,909	5,344	0,664	0,286	0,260	0,649	0,340
VELJAČA	28	6,0	11,16	0,821	5,269	1,203	0,628	0,516	0,305	0,413
OŽUJAK	31	8,3	14,58	0,909	5,024	1,572	0,815	0,740	0,169	0,409
TRAVANJ	30	12,0	19,3	0,879	4,629	2,081	1,012	0,890	-0,010	0,384
SVIBANJ	31	16,5	21,56	0,909	4,149	2,325	1,099	0,999	-0,090	0,374
LIPANJ	30	20,5	22,82	0,879	3,722	2,460	1,152	1,013	-0,134	0,370
SRPANJ	31	23,2	23,18	0,909	3,434	2,499	1,175	1,068	-0,159	0,371
KOLOVOZ	31	22,6	20,88	0,909	3,498	2,251	1,115	1,013	-0,104	0,391
RUJAN	30	19,0	17,42	0,879	3,882	1,878	0,986	0,867	0,013	0,415
LISTOPAD	31	14,7	12,56	0,909	4,341	1,354	0,749	0,681	0,228	0,437
STUDENI	30	10,1	6,98	0,879	4,832	0,753	0,373	0,328	0,552	0,391
PROSINAC	31	6,6	5,33	0,909	5,205	0,575	0,225	0,204	0,704	0,309
Godina		13,7	181,93	10,698			0,802	8,577	2,121	0,387

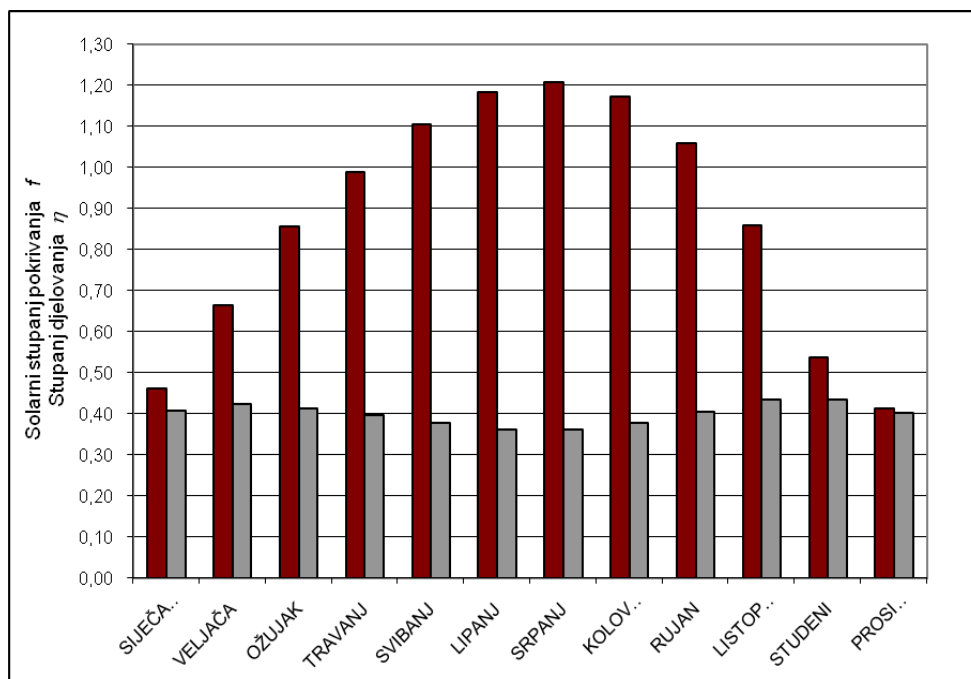


Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode

## 19. Dubrovačko-neretvanska županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za Dubrovačko-neretvansku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Dubrovnik		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=42,39^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=18,5^\circ$		t.v., l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	8,8	8,32	0,909	4,970	0,897	0,463	0,421	0,488	0,408
VELJAČA	28	9,3	11,52	0,821	4,917	1,242	0,665	0,546	0,275	0,423
OŽUJAK	31	11,1	15,19	0,909	4,725	1,638	0,856	0,777	0,131	0,413
TRAVANJ	30	14,1	18,25	0,879	4,405	1,968	0,989	0,869	0,010	0,397
SVIBANJ	31	18,1	21,42	0,909	3,978	2,309	1,104	1,003	-0,095	0,378
LIPANJ	30	21,8	24,01	0,879	3,584	2,589	1,185	1,042	-0,163	0,362
SRPANJ	31	24,5	24,37	0,909	3,295	2,627	1,208	1,097	-0,189	0,363
KOLOVOZ	31	24,4	22,79	0,909	3,306	2,457	1,173	1,066	-0,157	0,377
RUJAN	30	21,5	19,22	0,879	3,616	2,072	1,060	0,932	-0,053	0,404
LISTOPAD	31	17,7	14,47	0,909	4,021	1,560	0,858	0,780	0,129	0,435
STUDENI	30	13,7	9,07	0,879	4,448	0,978	0,539	0,474	0,406	0,435
PROSINAC	31	10,4	7,52	0,909	4,800	0,811	0,414	0,376	0,532	0,404
Godina		16,3	196,15	10,698			0,877	9,383	1,314	0,393

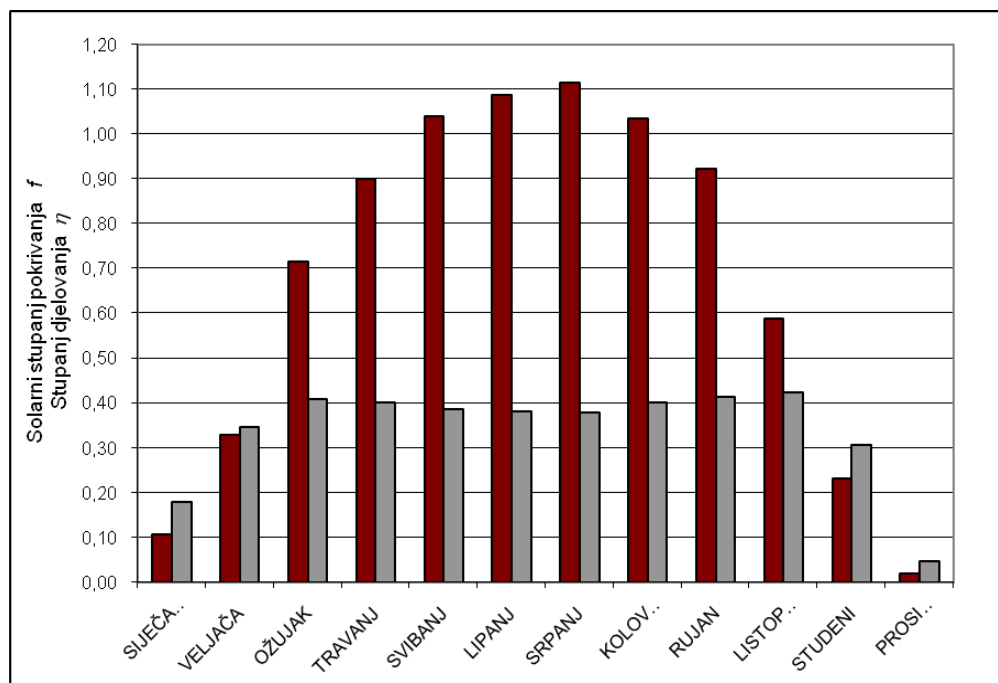


Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode

## 20. Međimurska županija

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za Međimursku županiju za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Čakovec		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=46,2^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$	0,79			
$\lambda=16,33^\circ$		t.v.,l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$	3,9			
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	-1,3	4,39	0,909	6,048	0,473	0,107	0,097	0,811	0,179
VELJAČA	28	1,3	6,98	0,821	5,771	0,753	0,330	0,271	0,550	0,346
OŽUJAK	31	5,5	12,82	0,909	5,323	1,382	0,716	0,651	0,258	0,409
TRAVANJ	30	10,2	16,42	0,879	4,821	1,770	0,902	0,793	0,087	0,402
SVIBANJ	31	14,8	19,77	0,909	4,330	2,132	1,041	0,946	-0,037	0,386
LIPANJ	30	18,0	20,81	0,879	3,989	2,244	1,088	0,956	-0,077	0,383
SRPANJ	31	19,6	21,53	0,909	3,818	2,321	1,115	1,013	-0,105	0,380
KOLOVOZ	31	18,7	18,9	0,909	3,914	2,038	1,035	0,940	-0,031	0,401
RUJAN	30	15,1	16,34	0,879	4,298	1,762	0,924	0,812	0,067	0,414
LISTOPAD	31	9,9	10,15	0,909	4,853	1,094	0,588	0,534	0,375	0,424
STUDENI	30	4,8	5,51	0,879	5,397	0,594	0,231	0,203	0,676	0,307
PROSINAC	31	0,3	3,2	0,909	5,877	0,345	0,021	0,019	0,889	0,048
Godina		9,7	156,82	10,698			0,676	7,235	3,463	0,379

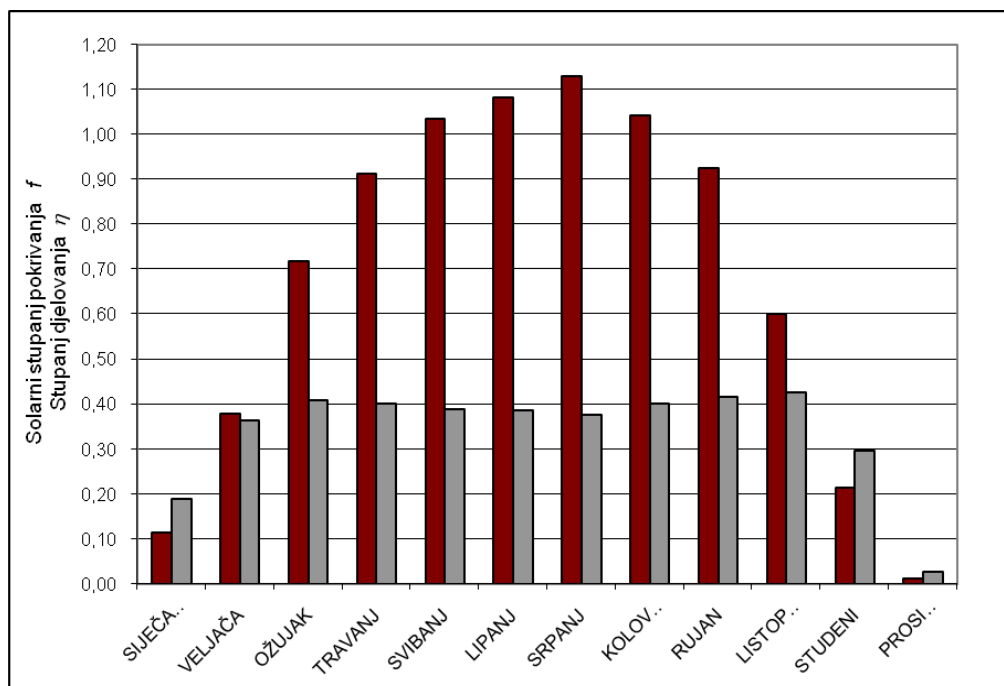


Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode

## 21. Grad Zagreb

Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošne tople vode postupkom  $f$ -Chart za  
Grad Zagreb za kolektore pod kutom  $\beta$  i orijentacije (azimut)  $\pm 45^\circ$

Lokacija – Zagreb		br. os.	4	$\vartheta_{tv}, ^\circ\text{C}$	50	$\beta=30^\circ$				
$\varphi=45,49^\circ$		$A_k, \text{m}^2$	4,0	$\vartheta_{hv}, ^\circ\text{C}$	15	$\eta_0=F_R(\tau\alpha)_n$			0,79	
$\lambda=16,2^\circ$		t.v., l/os.	50	$V_s, \text{l}$	300	$k_{ef}=F_Rk, \text{W/m}^2\text{K}$			3,9	
	N	$\vartheta_z$	$H_\beta, \text{MJ/m}^2\text{d}$	$Q_{ptv}, \text{GJ}$	$X$	$Y$	$f$	$Q_k, \text{GJ}$	$Q_d, \text{GJ}$	$\eta$
SIJEČANJ	31	-0,8	4,46	0,909	5,995	0,481	0,116	0,105	0,804	0,190
VELJAČA	28	1,9	7,6	0,821	5,707	0,819	0,378	0,310	0,510	0,365
OŽUJAK	31	5,9	12,85	0,909	5,280	1,385	0,720	0,654	0,255	0,410
TRAVANJ	30	10,6	16,67	0,879	4,778	1,797	0,913	0,803	0,076	0,401
SVIBANJ	31	15,3	19,51	0,909	4,277	2,104	1,035	0,941	-0,032	0,389
LIPANJ	30	18,5	20,56	0,879	3,936	2,217	1,083	0,953	-0,073	0,386
SRPANJ	31	20,1	21,96	0,909	3,765	2,368	1,129	1,026	-0,117	0,377
KOLOVOZ	31	19,3	19,04	0,909	3,850	2,053	1,042	0,947	-0,038	0,401
RUJAN	30	15,8	16,31	0,879	4,224	1,758	0,926	0,815	0,065	0,416
LISTOPAD	31	10,5	10,33	0,909	4,789	1,114	0,602	0,547	0,362	0,427
STUDENI	30	5,3	5,29	0,879	5,344	0,570	0,215	0,189	0,690	0,298
PROSINAC	31	0,9	3,28	0,909	5,813	0,354	0,012	0,011	0,898	0,027
Godina		10,3	157,86	10,698			0,682	7,300	3,398	0,380



Godišnji tijek solarnog stupnja pokrivanja  $f$  i stupnja djelovanja  $\eta$  navedenog solarnog sustava za  
pripremu potrošne tople vode

## LITERATURA

- [1] Majdandžić, Lj.: Solarni sustavi, Graphis Zagreb, 2010.
- [2] Majdandžić, Lj.: Obnovljivi izvori energije, Graphis Zagreb, 2008.
- [3] Eisenbeiss, G., Kleinkauf, W.: *Sonnenenergie – Wir sind auf dem Weg*, Forschungsverbund Sonnenenergie, Themen 93/94, 4 – 8, Köln, Februar 1994
- [4] Narodne novine.: Odluka o proglašenju zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji, Zagreb, 2015. (NN 100/2015)
- [5] Forst, M.: *Europe's market leader*, The magazine for Renewable Energies, Sun & Wind Energy, BVA Bielefelder Verlag GmbH & Co. KG, 38 – 41, Bielefeld, Germany, 7/2009.
- [6] Wirges, U.: *5 000 neue Jobs in einem Jahr*, Sonderpublikation der Solarpraxis AG zur 21. Europäischen PV-Konferenz Dresden 2006, Solarpraxis AG, 28 – 29, Berlin, 2006
- [7] Körnig, C.: *Zeitenwende bei der Solarenergie in Sicht*, Offizielles Fachorgan der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie e.V., Sonnenenergie, 14 – 16, München, Mai-Juni 2009.
- [8] Sonvilla, P.M.: *Iberischer Kater*, Photovoltaik, Alfons W. Gentner Verlag GmbH & Co. KG, Solarpraxis AG, 58 – 59, Stuttgart, 10/2009
- [9] Majdandžić, Lj., Pavić, P., Radovečki, Z.: *Poduzetnička kultura i usvajanje novih strukovnih tehnologija uporabom Sunčeve energije u svezi zaštite okoliša i smanjenja emisije stakleničkih plinova*, SOLARNA TEHNOLOGIJA, godina III, broj 6, 26 – 27, jesen 2007.
- [10] Hrvatska.eu.: Politički ustroj, Županije.
- [11] DZS.: Popis stanovništva, kućanstva i stanova, 2011.
- [12] MGIPU.: Program energetske obnove višestambenih zgrada za razdoblje od 2014. do 2020. godine, 2014.
- [13] Narodne novine.: Odluka o donošenju programa energetske obnove obiteljskih kuća za razdoblje od 2014. do 2020. godine s detaljnim planom za razdoblje od 2014. do 2016. godine (NN br. 43)
- [14] DZS.: Podaci o energetskej učinkovitosti u kućanstvima i uslugama u 2012., 2015.
- [15] Khartchenko, V. N.: *Thermische Solaranlagen, Grundlagen, Planung und Auslegung*, Springer-Verlag, Berlin, 1995.

- [16] Duffie, J.A. and Beckman, W.A.: *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2nd ed. Wiley, New York, 1991.
- [17] Beckman, W.A., Klein, S.A. and Duffie, J. A.: *Solarheizungen planmässig optimiert nach f-Chart Methode*, München, Pfriemer, 1979.
- [18] Beckman, W.A., Klein, S.A. and Duffie, J. A.: *Solar heating by the f-chart method*, Wiley, New York, 1977.
- [19] Kulišić, P., Vuletin, J., Zulim, I.: *Sunčane ćelije*, Školska knjiga, Zagreb, 1994.
- [20] Kulišić, P.: *Novi izvori energije*, Školska knjiga, Zagreb, 1991.
- [21] Penzar, I., Penzar, B.: *Fotosintetski aktivno Sunčevo zračenje u poljoprivrednom području Hrvatske*, Zbornik drugog savjetovanja o energiji u proizvodnji hrane, 20 – 28, 1984.
- [22] Ineichen, P., Perez, R., Seals, R.: *The importance of correct albedo determination for adequately modeling energy received by tilted surfaces*, Solar Energy, 39, 4, 301 – 305, 1987.
- [23] Galaso, I.: *Meteorološki podaci i simulacija rada složenih termotehničkih sustava*. Energetika i procesna postrojenja, 1, 175 – 177, Dubrovnik, 1994.
- [24] The German Energy Society: *Planning & Installing Photovoltaic Systems: A guide for installers, architects and engineers*, DGS, Berlin, 2008.
- [25] Schumacher, J.: *Digitale Simulation regenerativer elektrischer Energieversorgungssysteme*, Dissertstion, Universität Oldenburg 1991.
- [26] Čulig-Tokić, Dario; Krajačić, Goran; Doračić, Borna; Mathiesen, Brian Vad; Krklec, Robert; Larsen, Jesper Møller .: *Comparative analysis of the district heating systems of two towns in Croatia and Denmark*. In: Energy, Vol. 92, No. Part 3, 2015, p. 435-443.
- [27] EIHP.: *Energy Efficiency trends and policies in Croatia*, 2015
- [28] MINGO.: *Energija u Hrvatskoj*, 2014
- [29] ESTIF.: *Solar Thermal Markets in Europe*, 2012
- [30] Mauthner, F., Weiss, W., Spörk-Dür, M.: *Solar Heat Worldwide*, 2013
- [31] EC.: *EU Reference Scenario 2016 Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050*, 2016
- [32] Enerdata: *Energy Efficiency Policies nad Measures in Croatia*, 2015

## **PRILOZI**

### **I. CD-R disc**